



Universidade Nova de Lisboa
Faculdade de Ciências e Tecnologia

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

A HISTÓRIA DA FÍSICA NO ENSINO DA FÍSICA

A EVOLUÇÃO DA DESCOBERTA DO ELECTROMAGNETISMO NA HISTÓRIA E NO ENSINO DA FÍSICA

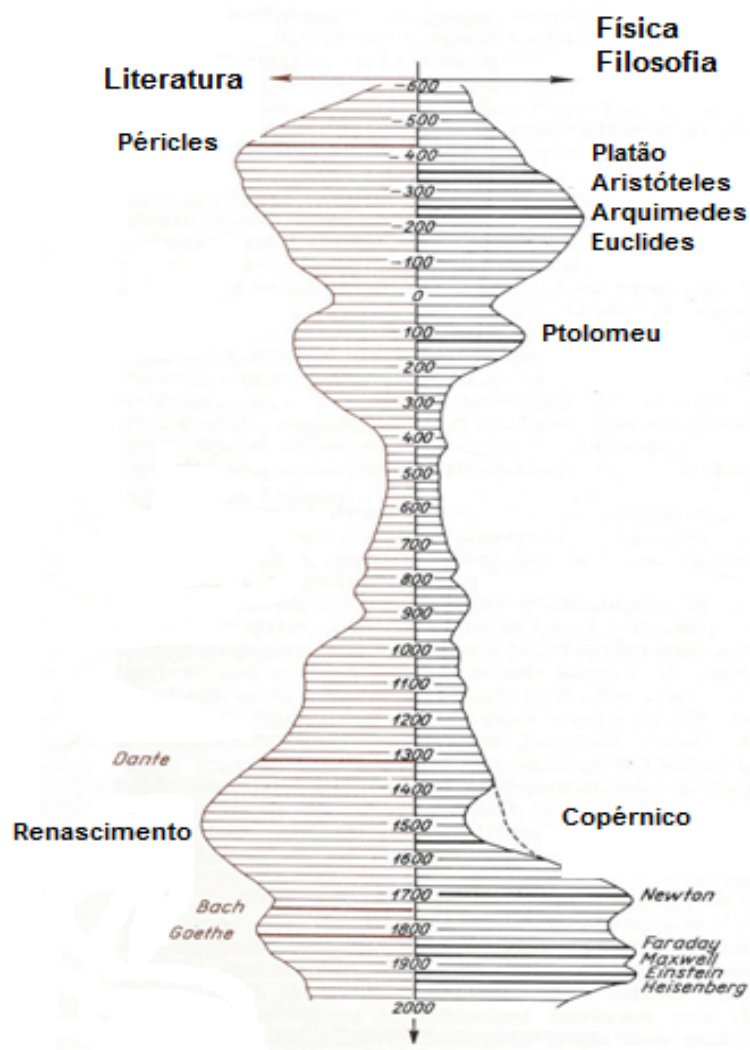
Isabel Maria Mota Heitor Lourenço

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para a obtenção de grau de mestre em Física Laboratorial, Ensino e História da Física.

Orientador: Professor Doutor Fernando Costa Parente

LISBOA

2008



"Intensidades da criação científica e artística".

Ilustra a evolução paralela da arte e da ciência, principalmente da Física (filosofia natural até meados do séc. XIX) e encontra-se dividida em três partes: ciência grega, período de transição e ciência moderna.

(adaptado de <http://dererumundi.blogspot.com/2008/06/evolucao-da-criacao-cientifica-e-da-criacao.html>)

Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de manifestar o meu reconhecimento a todas as pessoas que me ajudaram na elaboração deste trabalho e que de uma forma ou outra estão ligadas ao meu percurso pessoal, académico e profissional.

Quero sobretudo agradecer ao professor Doutor Fernando Parente pela disponibilidade que sempre demonstrou, as conversas que tivemos neste longo caminho de quase dois anos, as suas observações e sugestões sempre pertinentes que me ajudaram a superar os momentos menos bons e me davam um novo ânimo e motivação para prosseguir.

Às colegas e amigas desta longa jornada, Teresa Rodrigues e Paula Alves, os meus agradecimentos pelo apoio e extensas conversas, muitas vezes pela noite dentro, mas que foram fundamentais para não me sentir sozinha e não desistir de chegar ao fim.

Quero também agradecer ao Presidente do Conselho Executivo da Escola Secundária Dr. José Afonso, pela compreensão e colaboração relativamente aos horários das componentes lectivas nestes últimos três anos de formação, assim como à libertação de algumas tarefas burocráticas durante e no final do ano lectivo. Aos meus colegas do grupo de Físico-Química, o seu apoio, companheirismo e total disponibilidade quando necessitei de recolher algumas informações. Às colegas da Escola Secundária Fernando Namora, agradeço o tempo disponibilizado na aplicação dos testes diagnóstico.

Ao Fernando Reis que acompanhei de muito perto aquando da elaboração das suas teses de Mestrado e de Doutoramento na área da História e Filosofia das Ciências. Além de ter sido uma das minhas fontes de inspiração, também colaborou na elaboração desta dissertação com os seus conselhos, orientações e alguma bibliografia. À professora Ana Carneiro que durante as suas aulas conseguiu despertar a minha vontade de saber mais sobre a História da Química e da Física. Ao professor Vítor Teodoro que teve a amabilidade de disponibilizar informação diversa sobre “Aprendizagem Significativa” e que com

as suas provocações pertinentes, levaram-me a pensar e reflectir sobre o Ensino da Física.

Aos meus pais: ao meu pai, que ao longo da minha vida soube transmitir-me a sua vontade de vencer na vida e a sua procura constante de saber mais, transpondo e ultrapassando obstáculos, à minha mãe o seu apoio permanente, o meu anjo da guarda.

Por último ao Paulo Pires, o meu companheiro de alguns anos que sempre esteve a meu lado, com a sua paciência e carinho.

Resumo

O processo de ensino-aprendizagem é cada vez mais complexo e exige do docente uma grande dose de criatividade e de conhecimento diversificado, de modo a poder alargar o leque de metodologias e estratégias que tem ao seu alcance e auxiliar os seus alunos no longo caminho a percorrer. A História da Ciência surge como uma dimensão importante na promoção da cidadania e do conhecimento das ciências como integrando o que chamamos "cultura geral". Mas estarão os professores preparados para enfrentar este novo desafio?

Neste trabalho investigou-se a introdução das mais importantes etapas históricas do conhecimento do Electromagnetismo em diferentes níveis de ensino. O electromagnetismo é, indubitavelmente, uma das áreas em que os alunos apresentam ideias alternativas mais resistentes em Física.

Como referencial teórico para o desenvolvimento da metodologia aplicada, é utilizada a Teoria da Aprendizagem Significativa desenvolvida por Ausubel nos anos sessenta e alguns instrumentos facilitadores dessa aprendizagem que se inserem em ambientes construtivistas, os mapas de conceitos, "V" de Gowin, programas de Modelação e Simulação.

Foram elaborados testes diagnósticos para diferentes níveis de ensino (7º, 9º e 11º anos), e aplicados a alunos de três escolas diferentes localizadas na Grande Lisboa. Estes testes tiveram como objectivo identificar os conceitos alternativos que os alunos trazem consigo para a sala de aula e que frequentemente continuam a apresentar após o processo de ensino-aprendizagem do Electromagnetismo. Como complemento deste trabalho foram analisados Manuais Escolares, no que concerne o estudo do conceito de campo electromagnético, relativos aos anos referidos, comparou-se com as respectivas orientações curriculares aprovadas pelo Ministério da Educação, com o propósito de sugerir algumas ideias de como aplicar a História da Física no ensino da Física.

Abstract

The teaching/learning process is becoming more and more complex and asks from the teacher a great deal of creativity and knowledge, in order to be able to enlarge the set of accessible methodologies and strategies and lead his/her students in the long road they have to walk. The History of Science plays an important role in the promotion of the social inclusion and in the knowledge of science as part of the cultural environment. But are the teachers ready to face this challenge?

In this work we searched for the introduction of the most important historical steps of the knowledge of electromagnetism in the different levels of the learning process. This is certainly one of the areas in Physics where the most resilient alternative conceptions exist.

As theoretical reference system for the development of the methodology that was applied, we took the meaningful learning theory of Ausubel, which was developed in the sixties, and made use of several instruments which facilitate the use of this learning process, in construtivistic environments, such as concept maps, Gowin diagrams and simulations.

Diagnostic tests for three school levels (7th, 9th and 11th grades) were written and applied to students from three schools in the Great Lisbon area. The aim of these tests was the identification of the alternative conceptions the students bring to the classroom and keep using after going through the electromagnetism teaching/learning process.

As complement of this work, some school textbooks for the referred grades were examined, in what concerns the study of the electromagnetic field concept, comparing with curricular orientations of the Ministry of Education, in order to suggest some ideas on how to apply the History of Physics on the Physics teaching process.

Índice

Agradecimentos	3
Resumo	5
Abstract	6
Introdução	10
1. Modelos de Ensino-Aprendizagem	12
1.1 Introdução	12
1.2 Construtivismo	15
1.3 Aprendizagem Significativa	19
1.3.1. Mapas de Conceitos	27
1.3.2. "V" de Gowin	35
1.3.3. Aprendizagem Colaborativa.....	39
1.3.4. Simulação e Modelação	44
1.3.5. Animação Interactiva em tempo real	46
2. Concepções Alternativas	52
2.1 Introdução	52
2.2 Movimento das Concepções Alternativas.....	53
2.2.1. Teoria da Mudança Conceptual	56
2.2.2 Modelos Conceptuais de Vergnaud	60
2.2.3. Modelos Mentais de Johnson-Laird	63
2.2.4. Uma breve reflexão	66
3. Dificuldades Conceptuais no Ensino do Electromagnetismo	69
3.1 Dificuldades na compreensão do conceito de 'Campo' e de 'Fluxo'70	
3.2 Investigação do conceito de Campo em Manuais Escolares.....	77
4. Análise de Manuais Escolares e Orientações Curriculares	82
4.1 Ensino Básico	85

4. 2	Ensino Secundário.....	90
5.	Estudo de um caso	96
5. 1	Caracterização da Amostra	96
5. 2	Análise e Interpretação de Resultados.....	98
5. 3	Conclusões Finais.....	122
6.	A História do Electromagnetismo no Ensino da Física	125
6. 1	História da Ciência	125
6. 2	Como utilizar estas experiências no ensino	131
7.	Conclusões e Sugestões	134
8.	Bibliografia	137
	ANEXOS	146
	ANEXO I – MAPA DE CONCEITOS	147
	ANEXO II – Referência Histórica sobre o Desenvolvimento do Electromagnetismo	148
1. 1	Evolução da Electricidade até à Descoberta do Electromagnetismo	148
1.1.1.	William Gilbert	151
1.1.2.	Nicolo Cabeo.....	159
1.1.3.	Otto Von Guericke	159
1.1.4.	Francis Hauksbee	161
1.1.5.	Stephan Gray.....	162
1.1.6.	Charles du Fay	163
1.1.7.	Benjamim Franklin.....	165
1.1.8.	Charles Augustin Coulomb	167
1.1.9.	Luigi Galvani.....	171
1.1.10.	Alessandro Volta	173
1. 2	Descoberta e Evolução do Electromagnetismo	180

1.2.1	Hans Christian Oersted.....	181
1.2.2	André Marie Ampère e a Electrodinâmica	189
1.2.3	Faraday e a Lei da Indução Electromagnética	194
1.2.4	A Teoria Electromagnética de Maxwell	210
ANEXO III – ORIENTAÇÕES CURRICULARES PARA O 9º E 11º ANOS RELATIVAMENTE AO ELECTROMAGNETISMO		215

Introdução

Esta dissertação surge como corolário de todo um trabalho realizado ao longo dos últimos três anos e de uma experiência no ensino de quinze anos. Teve o seu início quando senti necessidade de ter uma formação mais sólida em Física, de modo a responder às exigências dos novos programas de Física e de Química e fundamentalmente para poder transmitir o conhecimento com o máximo de rigor científico aos nossos alunos, pois a minha formação de base é Engenharia Química.

Deste modo quando tive conhecimento da existência deste Mestrado "Física Laboratorial, Ensino e História da Física", pareceu-me o ideal, pois poderia aprender a manipular alguns equipamentos utilizados no Laboratório de Electrónica e consolidar conteúdos de Física em que tinha mais dificuldades, designadamente o Electromagnetismo e por outro lado entrar numa outra área que é uma das minhas paixões, a História.

Como História é uma área muito abrangente em termos de conhecimento, as aulas da professora Ana Carneiro e do professor Christopher Aretta foram também fundamentais na escolha do tema desta dissertação. A primeira porque despertou a minha vontade de conhecer mais sobre a História da Ciência, designadamente a História da Química e da Física e o segundo porque nos levou a conhecer um grande investigador da História da Ciência, o professor Rómulo de Carvalho, uma referência da cultura, da ciência e da educação - o artista, o cientista e o pedagogo.

" Tendo sentido, desde muito cedo, a necessidade de separar a metodologia científica da metodologia pedagógica, Rómulo de Carvalho nunca esqueceu que uma coisa é, por exemplo, a Física como ciência e outra, bem distinta, é a Física como objecto de ensino." (Nóvoa, 2003)

Assim, após um **capítulo** onde se encontra uma referência a vários modelos de Ensino-Aprendizagem, com ênfase para a aprendizagem significativa de conceitos e alguns instrumentos que o professor tem à sua disposição para facilitar este tipo de aprendizagem, no **segundo capítulo** faz-se uma

abordagem às concepções alternativas dos alunos e aos modelos conceptuais e mentais, respectivamente de Vergnaud e de Johnson-Laird assim como uma breve reflexão. No **terceiro capítulo** investigam-se as diversas dificuldades conceptuais no ensino do electromagnetismo, relativamente ao conceito de campo, analisam-se diferentes manuais escolares de forma a verificar em cada um, o modo de abordagem deste conceito. No **quarto capítulo** analisam-se os programas actuais do 7º, 9º e 11º ano relativamente ao Electromagnetismo propondo-se alterações, complementando-se este estudo com a análise de um conjunto de manuais escolares. No **quinto capítulo**, partindo-se da aplicação de testes diagnóstico a alunos do Ensino Básico (7º e 9º anos) e ao nível do Ensino Secundário (11º ano), que funcionaram como pós teste e serviram para identificar algumas das ideias que os alunos trazem consigo para a sala de aula. No **sexto capítulo** utilizando a História da Física, propõem-se algumas ideias de como aplicar esta em ambientes construtivistas de sala de aula, de modo a motivar os alunos para a aprendizagem da Física. Por último são expostas as conclusões e/ou propostas para futuros trabalhos.

1. Modelos de Ensino-Aprendizagem

1.1 Introdução

No sistema educativo pretende-se, além de educar no sentido de o indivíduo se desenvolver de forma global, ensinar e orientar os nossos jovens em temas que dificilmente poderiam ser aprendidos fora da escola ou que por circunstâncias de ordem social, não poderiam ser aprendidos no meio familiar. No entanto, o ensino que é proporcionado nas nossas escolas pode afastar os alunos daquilo que já aprenderam informalmente e de modo espontâneo, pelo que é conveniente que esteja inserido num processo contínuo de aprendizagem, aprendizagem essa que o aluno vai construindo ao longo do tempo e através das diversas actividades e projectos em que participa.

No final do séc. XIX iniciou-se a formação e organização das escolas, baseando-se numa determinada perspectiva sobre a natureza e formas de aquisição de conhecimentos e igualmente num conjunto de pressupostos sobre a melhor maneira de assegurar que todos os indivíduos adquirissem o mesmo conhecimento, sem considerar aprendizagens anteriores, de modo a transformá-los em cidadãos responsáveis e, acima de tudo, bons trabalhadores.

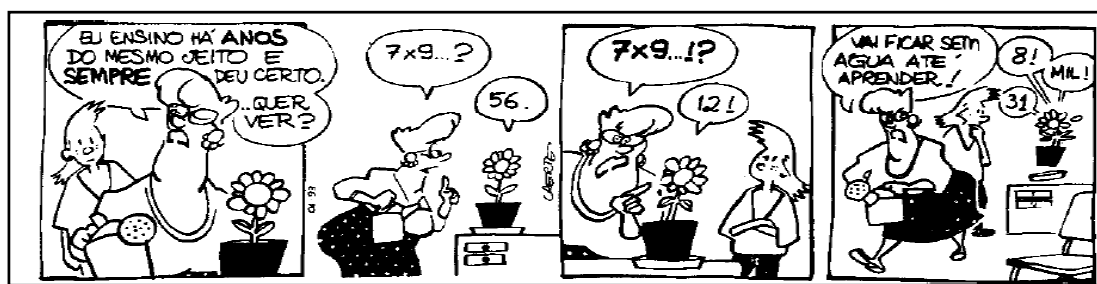


Figura 1 – Aprendizagem tradicional

Nesta altura a perspectiva tradicional acerca da natureza do conhecimento, na qual se baseiam os sistemas educativos contemporâneos, é **objectivista**, perspectiva que considera o conhecimento como sendo constituído por verdades a que os indivíduos têm acesso (Arends, 1995).

Numa alternativa a esta perspectiva, surge o **Construtivismo**. Em vez de considerar o conhecimento como um dado adquirido, estabelecido e transmissível, a perspectiva construtivista defende que o conhecimento é algo pessoal e que o significado é construído pela pessoa em função da sua experiência (Arends, 1995). O Construtivismo está relacionado com o modo como os estudantes constroem o seu próprio conhecimento, este depende daquilo que eles já sabem, das suas próprias experiências e da maneira como as organizam em estruturas de conhecimento. Construimos assim a nossa própria realidade através da interpretação das nossas experiências diárias. Como o professor não consegue “interpretar” o estudante porque os dois não partilham as mesmas experiências, essa realidade reside na mente de cada um, que interpreta o mundo exterior de acordo com as suas experiências, crenças e conhecimentos. Os modelos construtivistas de ensino apontam para a criação de ambientes de aprendizagem, onde os estudantes constroem activamente o seu próprio conhecimento, em vez de seguirem a interpretação do professor do mundo que nos rodeia.

Este modelo de ensino-aprendizagem, se por um lado reúne consensos, por outro também é criticado, não havendo uma única definição e muito menos uma aceitação total. Valadares (2001) refere nesta comunicação, que podemos distinguir diferentes tipos de construtivismo, o radical e trivial, o construtivismo cultural e crítico e ainda o construtivismo social. Novak acrescenta uma outra forma de construtivismo, o construtivismo humano, que Valadares (2001) define:

«O conhecimento científico, qualquer que ele seja, é uma construção humana resultante de interações complexas envolvendo sujeitos e objectos, em que nem uns nem outros têm hegemonia¹».

Podemos então dizer que a construção do conhecimento científico é um processo humano e, como tal, todos nós cometemos erros, até os grandes investigadores os cometeram e continuarão a cometer. É esta posição que os

¹ Supremacia de uma coisa sobre a outra.

alunos têm de assumir e interiorizar, o Homem pode aprender com os seus próprios erros e deste modo construir o conhecimento. Ainda segundo Valadares (2001), podemos também encarar o Construtivismo como um paradigma com repercussões na filosofia da ciência, na psicologia educacional e na educação científica.

Gil-Pérez (2002) menciona que o construtivismo contempla a participação activa dos estudantes na construção do conhecimento e não na simples reconstrução pessoal do conhecimento que é previamente elaborado e fornecido pelo professor e pelo manual escolar. Cachapuz e Praia (2001) defendem um ensino-aprendizagem por investigação, mas uma investigação orientada pelo professor e muito apoiada em trabalho cooperativo.

É em 1963 que surgem os primeiros trabalhos relacionados com teorias cognitivas de aprendizagem dos quais, o psicólogo educacional americano David Ausubel² foi pioneiro, publicando nesse ano "The Psychology of Meaningful Verbal Learning"³, uma das obras que deram início ao desenvolvimento da **Aprendizagem Significativa** e que, após mais de quarenta anos, continua actual e a ser citada em inúmeros artigos.

Nos anos oitenta inicia-se a exploração das **mudanças conceptuais** e é nessa vertente que a opinião de alguns investigadores no Ensino das Ciências caminha. Segundo Fiolhais e Trindade (1999), deve erradicar-se essas concepções erradas, de modo a transmitir conhecimentos científicos mais sólidos, senão os alunos não conseguem assimilar os novos modelos conceptuais, vindo daí a dificuldade em aplicar os novos conhecimentos a novas situações. Os mesmos autores referem que os professores deverão ter

² Ausubel nasceu em Nova York em 1918, filho de pais judeus provenientes da Europa Central. Estudou Medicina e Psicologia na Universidade da Pensilvânia. Foi médico, psiquiatra, professor, investigador e foi nesta última valência que desenvolveu a teoria da aprendizagem significativa. Foi um dos fundadores das teorias construtivistas da aprendizagem e escreveu diversos livros sobre Psicologia da Educação.

³ Ausubel actualizou esta obra em 2000: Ausubel, D.P. (2000), The acquisition and retention of knowledge: A cognitive view, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. Tradução portuguesa editada pela Plátano Editora (2002).

conhecimento das concepções erradas e construir instrumentos para saberem lidar com elas.

Nos anos noventa surgem outros conceitos utilizados como bases teóricas para as novas tendências em Educação em Ciências, nomeadamente os **Modelos Mentais, Modelos Conceptuais e Modelização** (Greca e Moreira, 1998).

1.2 Construtivismo

“Se tivesse que simplificar toda a psicologia educacional num único princípio, diria o seguinte: o factor mais importante que influencia a aprendizagem é o que o aluno já conhece. O professor deve descobrir o que o aluno sabe e basear nisso os seus ensinamentos.”

Ausubel (adaptado, 1980)

Em ambientes construtivistas, os alunos deverão estar activamente empenhados em interpretar o mundo exterior, reflectindo essas experiências no seu próprio conhecimento. Se os estudantes construírem activamente as suas próprias interpretações do mundo, sentem-nas mais como sendo as suas e não as de outros, ficando, portanto, com mais hipóteses de elas não se esgotarem ao longo do tempo (Jonassen, 1996). Uma das vantagens do construtivismo no ensino-aprendizagem em Ciência é o deixar de concentrar a atenção no professor e passar a incidir nas necessidades de compreensão dos alunos em aprender Ciência, tendo como ponto de partida os conhecimentos prévios dos alunos acerca de determinado conceito. O professor deve então utilizar essa informação e o seu próprio conhecimento para criar um clima favorável à aprendizagem, de forma a chegar às necessidades de aprendizagem de todos os alunos. Esta deve ser evidenciada não só no modo como o aluno tenta extrair significado dos fenómenos, mas também, sobre o papel do contexto social como mediador da aprendizagem. Nesta perspectiva construtivista, o ensino não é entendido como uma pura transmissão aos alunos de verdades estabelecidas, mas proporciona-lhes experiências relevantes e sobretudo oportunidades de diálogo e também de argumentação.

A escola é assim um espaço ideal que deve contribuir para o processo de aprendizagem dos alunos, valorizando o que eles já sabem, incentivando a concentração na realização de tarefas, promovendo a atenção periférica, o espírito crítico e a criatividade, motivando os alunos para aprenderem.

A filosofia das novas orientações curriculares para o Ensino Básico e Secundário no nosso País propõe uma abordagem dos temas de forma mais globalizante e interdisciplinar. Esta filosofia será a mais correcta se pensarmos que com a mudança tecnológica acelerada e a globalização⁴ do mercado, vai ser cada vez mais necessário formar indivíduos com conhecimentos gerais em várias áreas, capacidade de comunicação, flexibilidade em termos de adaptação a novas funções e com a capacidade de aprender ao longo da vida. Estas competências não se coadunam com um ensino científico compartimentado em conteúdos desligados da realidade e, por vezes, sem uma ligação directa às necessidades do nosso dia-a-dia.

Uma vez que o ensino das Ciências nem sempre teve uma vertente integradora e colaborativa, torna-se relevante reflectir sobre a evolução do mesmo. Até finais da década de cinquenta, o modelo de ensino das Ciências que prevaleceu era a aprendizagem por transmissão, como já foi referido, em que o professor era visto como o detentor do conhecimento, o centro do processo de ensino e aprendizagem, tendo como função transmitir aos alunos os conhecimentos científicos incluídos num Programa, elaborado pelo Ministério da Educação. Freire (1975) designou este tipo de ensino por “ensino bancário” onde os alunos eram vistos como bancos onde eram depositados os conhecimentos científicos. O que interessava era que os alunos assimilassem os conteúdos leccionados pelo professor, muitas vezes recorrendo à memorização, não havendo relacionamento de informação, mas um acumular da mesma. Os alunos não tinham liberdade nem margem para se revelarem

⁴ A globalização pode ser definida como a intensificação das relações sociais de escala mundial, relações que ligam comunidades distantes de tal maneira que as ocorrências locais são moldadas por acontecimentos que se dão a muitos quilómetros de distância e vice-versa. A globalização acontece tanto a nível económico como social, tecnológico e científico.

como indivíduos que têm dúvidas, que problematizam e que tentam construir conhecimento.

Nos anos setenta, a teoria de aprendizagem que vigorou, principalmente na Biologia, era a de que os alunos aprendiam por descoberta ou seja as ideias eram descobertas sistematicamente a partir da observação de factos (Santos e Praia, 1992). Segundo estes autores este modelo de ensino-aprendizagem entrou em ruptura no final da década de oitenta com o movimento das concepções alternativas, que veio fundamentar a perspectiva construtivista do ensino das ciências. A aprendizagem passou a ser vista como um processo de mudança conceptual e não como um processo de aquisição de conceitos.

Numa perspectiva construtivista da aprendizagem, os alunos assumem um papel muito importante, pois os seus conhecimentos são de vital relevância quando da aquisição de novos conhecimentos. Os alunos já vão para a escola com conhecimentos mais ou menos sofisticados de como o mundo funciona, mas ainda existe muito a fazer a este nível.

Harlen (2002) refere ainda que, nos anos 60 e 70, a ciência a um nível mais básico restringia-se a uma manipulação dos objectos em estudo, mas que actualmente, dá-se mais importância ao "saber pensar" em detrimento do "saber fazer". Torna-se essencial que os alunos construam o seu conhecimento de diversas maneiras: através da experiência directa, sempre que possível, mas também através da utilização do manual, do recurso a sessões onde exista discussão e reflexão ou ainda outras fontes de informação que possam estar disponíveis. Sabemos que as crianças passam por um processo cognitivo contínuo, no qual a convicção que tem na infância de "ver para crer" faz com que as suas ideias sejam frequentemente, influenciadas pelas observações e pelas experiências. Mas as aparências podem ser ilusórias e certos fenómenos só podem ser explicados através de relações lógicas e/ou científicas, que eles não têm necessariamente que ver.

Uma vez que aprender pressupõe um processo pessoal e activo de construção de conhecimento, esta perspectiva construtivista opõe-se à concepção do sujeito receptor passivo de saberes transmitidos e supõe que,

num qualquer processo de ensino-aprendizagem, o aluno deva ser considerado um sujeito activo, possuidor de vivências e objectivos próprios (Pozo, 1996). Deste modo, o construtivismo explica como o conhecimento é criado, desenvolvido e modificado no interior do indivíduo. O conhecimento é originado pelas diferentes leituras e construções que o indivíduo faz da realidade que o rodeia, ou seja, ele vai atribuir significados à informação com que se vai deparando no seu dia-a-dia.

Contrariamente à perspectiva construtivista pessoal, o desenvolvimento do conhecimento do indivíduo não é unicamente resultado de um processo interno, tem também a sua origem no mundo social (Construtivismo Social) em que se encontra inserido e encontra-se mais inclinado para estabelecer relações com grupos sociais com os quais interage (Hodson & Hodson, 1998). As interacções individuais dos alunos com os seus pares são importantes para o processo activo de construção do conhecimento de cada aluno e do grupo. Apesar do construtivismo pessoal dar mais atenção à influência do conhecimento interno prévio e o construtivismo social às experiências externas vividas pelo indivíduo, a sua interdependência mútua é de extrema importância para um maior entendimento da aprendizagem construtivista, visto que o conhecimento interno do indivíduo só tem sentido quando confrontado com experiências externas e vice-versa. O papel crítico que o conhecimento dos alunos assume na aprendizagem é crucial para a interpretação das experiências que vão surgindo e condicionam, de forma decisiva, as novas aprendizagens (Pozo, 1996). O construtivismo destaca que os alunos, quando adquirem nova informação, fazem dela o que são capazes, de acordo com as suas motivações. Os alunos são activos ao atribuírem significado à informação que recebem e ao construírem as suas próprias interpretações dessa informação. O conhecimento resulta então da interacção entre a informação que o aluno recebe e o conhecimento que este já possui nas suas estruturas cognitivas e que passa a ter realmente significado para o aluno. Falamos agora

da aprendizagem com significado. Para concluir, o Construtivismo⁵ assenta em princípios fundamentais como:

- Aprender a construir conhecimentos;
- Aprender a partir de conceitos prévios;
- Aprender significativamente.

1.3 Aprendizagem Significativa

“Quando se planificam e se leccionam aulas de ciências, deve-se ter em conta a interacção complexa entre a maturação biológica dos alunos, os seus conhecimentos e experiências anteriores e as capacidades de raciocínio, de modo que as lições desafiem, mas não desvalorizem as capacidades cognitivas dos alunos” (Staver, 2007)

Muito se tem escrito e falado da aprendizagem significativa e muito mais se irá escrever, mas o princípio que norteia esta teoria da aprendizagem, desenvolvida por Ausubel na década de sessenta, é que a aprendizagem de um aluno depende do que ele já sabe, ou seja, do que já está agregado na sua estrutura cognitiva. Segundo esta teoria, a aprendizagem pode ser dita significativa quando uma nova informação adquire significado para o aluno através de uma espécie de “ancoragem” em aspectos importantes da estrutura de conhecimentos preexistente no indivíduo, que podem ser conceitos, ideias, proposições, modelos, fórmulas, com determinado grau de clareza, estabilidade e diferenciação (Ausubel, 2003). Esses aspectos relevantes da estrutura cognitiva que servem de ancoradouro para a nova informação designaram-se por “subsunçores”⁶. O termo ancorar, no entanto, apesar de útil como uma primeira ideia do que é a aprendizagem significativa, não dá uma imagem dinâmica do processo. Na aprendizagem significativa há uma

⁵ Os grandes precursores do construtivismo contemporâneo, o suíço Jean Piaget e o russo Lev Vigotski iniciaram as suas investigações na década de vinte do século passado. Mas apenas nos anos setenta, as ideias construtivistas passaram a ser utilizadas.

⁶ Tem origem no termo inglês “subsume ou subsumption”, [...] colocação de uma ideia particular sob a dependência de uma ideia geral (Dicionário Inglês-Português, Porto Editora, 2005). Mas a palavra ‘aportuguesada’ será subsunção ou ancoragem.

interacção entre o novo conhecimento e o que existe, o conhecimento vai então sendo construído, ou seja, os subsunçores vão adquirindo novos significados, formando-se novos subsunçores que vão interagindo entre si. A estrutura cognitiva está constantemente a ser reestruturada durante a aprendizagem significativa, daí ser um processo dinâmico.

Podemos referir como exemplo, os conceitos de Força, de Campo e de Magnetismo. Estes já existem na estrutura cognitiva dos alunos e irão funcionar como subsunçores para novas informações que os alunos irão receber, referentes a certos tipos de força e de campo como, por exemplo, a força gravítica, a força eléctrica, o campo eléctrico e campo magnético. Os aprendentes fazem analogias entre o que observam quando aproximam um íman de um objecto de ferro ou então entre um actor de cinema e o seu grupo de fãs, antes mesmo de terem ouvido falar em magnetismo na escola (ouvimos muitas vezes *"este actor tem magnetismo, tem um certo carisma"* ou então *"sinto-me magnetizado por ele ou por ela"*, neste caso só traduz atracção).

Este processo de *ancoragem* da nova informação resulta do crescimento e da modificação do conceito "subsunçor". Isso significa que os "subsunçores" existentes na estrutura cognitiva podem ser abrangentes e bem desenvolvidos ou limitados e pouco desenvolvidos dependendo da frequência com que ocorre a aprendizagem significativa em conjunção com um dado subsunçor. Neste exemplo, uma ideia intuitiva de força e de campo serviria como subsunçor para novas informações referentes a forças e campos gravíticos, campo eléctrico e magnético, porém na medida que esses novos conceitos fossem aprendidos de maneira significativa isso resultaria num desenvolvimento dos conceitos subsunçores iniciais. Isto é, os conceitos de força e campo ficariam mais elaborados, mais exclusivos e mais capazes de servir de subsunçores para novas informações relativas a estes conceitos.

Nova Informação ↔ Subsunçor ↔ Ancoragem

Na aprendizagem significativa o novo conhecimento nunca é assumido de modo literal, porque no momento em que passa a ter significado para o aluno,

entra em cena a componente pessoal de cada um. Aprender significativamente implica atribuir significados e estes dependem do aluno, se a aprendizagem não é feita deste modo, ou seja, sem o conhecimento preexistente, é mecânica e não é significativa (Moreira, 1998)⁷.

Coube a Novak, desenvolver, melhorar e divulgar os pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa e acrescentar os aspectos que são do domínio afectivo, dando um carácter mais humanista à teoria de Ausubel, ao considerar que *“a aprendizagem significativa encontra-se subjacente a uma integração construtiva entre, pensamento, sentimento e acção que conduz ao enriquecimento humano”*. (Gowin e Novak, 1996)

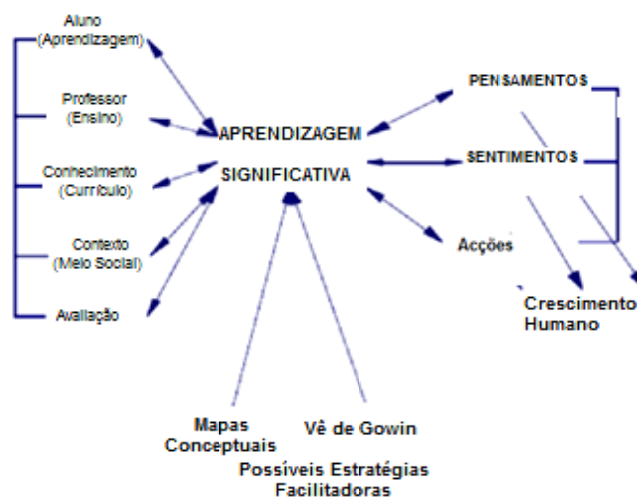


Figura 2 - A Aprendizagem significativa na visão humanista de Novak (adaptado de Moreira, 2006⁸)

Para Ausubel, as atitudes e sentimentos positivos em relação à experiência educativa têm as suas raízes na aprendizagem significativa assim como a estimulam. A visão humanista de Novak está esquematizada na Figura 2, em

⁷ Quando Moreira faz distinção entre as diversas visões da aprendizagem significativa, refere a de Ausubel como sendo Clássica, a de Novak, humanista e a de Gowin, social.

⁸ In Conferência de encerramento do V Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa, Madrid, Espanha, Setembro de 2006.

que surgem os cinco “lugares comuns da educação” – aprendizagem, ensino, currículo, meio social e avaliação, os quais também estariam incluídos na aprendizagem significativa.

Pelo contrário, quando uma informação não é aprendida de forma significativa ela é aprendida de forma mecanizada. Neste tipo de aprendizagem, as informações são aprendidas praticamente sem interagir com informações relevantes presentes na estrutura cognitiva. Para Ausubel (1978) tanto a aprendizagem significativa como a aprendizagem mecânica podem coexistir, não havendo qualquer incompatibilidade entre ambas. Segundo o mesmo autor, a aprendizagem mecânica é, muitas vezes inevitável, no caso de conceitos inteiramente novos para o aluno, mas refere que no futuro esta transformar-se-á em significativa. Mas não quer dizer que esse conhecimento é armazenado num vazio cognitivo, mas sim, que ele não interage significativamente com a estrutura cognitiva preexistente e como tal pode não adquirir significado. O que acontece é que, durante um determinado período de tempo, o aluno é capaz de reproduzir o que aprendeu mecanicamente mas, se não tiver qualquer significado para ele, irá esquecê-lo facilmente. Ausubel criou uma nova alternativa para essa situação, ao propor a utilização de «organizadores prévios», que definiu como ligações do tipo cognitivo entre o que o aluno já sabe e o que pretende saber. É construído com um elevado grau de abstracção, de modo a poder apoiar-se nos pilares fundamentais da estrutura cognitiva do aluno e, desse modo, facilitar a apreensão de conhecimentos mais específicos com os quais contacta. Este tipo de aprendizagem é muito utilizado quando os alunos se preparam para os exames finais, sobretudo nas questões que não envolvem raciocínio.

Valadares (2001) refere que, se o aluno aprendeu mecanicamente um assunto e mais tarde vai querer aprofundá-lo, é natural que já não disponha do subsunçor necessário para aprender significativamente e que, provavelmente, não tenha outra alternativa a não ser uma nova aprendizagem mecânica do assunto que entretanto já esqueceu e neste caso a mente do aluno não consegue ser preparada para a transferência e adaptação a novas situações.

Novak (1980) salienta que a aprendizagem significativa apresenta quatro grandes vantagens sobre a aprendizagem por memorização ou mecânica:

- Os conhecimentos adquiridos significativamente ficam retidos por um período maior de tempo;
- As informações assimiladas resultam num aumento da diferenciação das ideias que serviram de “âncoras”, aumentando assim, a capacidade de uma maior facilidade na aprendizagem de conteúdos relacionados;
- As informações que são esquecidas ainda deixam um efeito residual no conceito assimilado e, na verdade em todo o quadro de conceitos relacionados.
- As informações apreendidas significativamente podem ser aplicadas numa enorme variedade de novos problemas e contextos.

Ainda segundo Ausubel, a aprendizagem significativa pode ainda ocorrer por recepção ou por descoberta. Na aprendizagem por recepção, a informação é apresentada ao aluno na sua forma final, enquanto que na aprendizagem por descoberta o conteúdo a ser aprendido necessita de ser encontrado pelo aluno, pressupondo ainda esta última que o aluno deva descobrir o conhecimento utilizando os seus próprios recursos e refere que:

“A abordagem da descoberta não oferece vantagens excepto no caso muito limitado de uma tarefa de aprendizagem mais difícil, quando o aluno ou está no estágio concreto do desenvolvimento cognitivo, ou no estágio abstracto e geralmente o aluno necessita de uma sofisticação mínima nesse campo de conhecimentos”



Menciona ainda que se o aluno tivesse que descobrir o conhecimento a tempo inteiro, não haveria tempo suficiente na sua vida escolar para que isso ocorresse e haveria um alto custo na criação de situações para tal. No entanto, é possível recorrer a este tipo de aprendizagem sempre que o professor o considerar conveniente para uma melhor aprendizagem. Moreira destaca que pode ocorrer uma sobreposição entre os conteúdos aprendidos por recepção e

por descoberta, uma vez que os aprendidos por recepção são utilizados na descoberta de soluções de problemas. Ausubel considera que as aprendizagens por recepção e por descoberta situam-se ao longo de uma linha contínua de aprendizagens significativas e mecânicas, como se pode observar na figura seguinte.

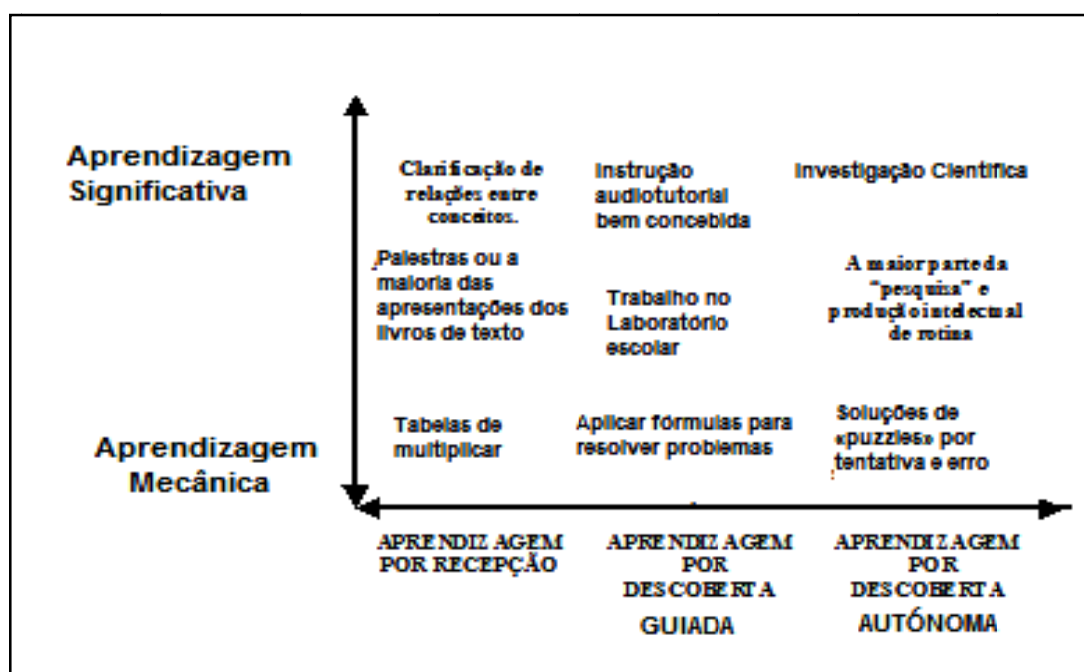


Figura 3 - Quer o ensino se dê por recepção ou por descoberta, ambos podem levar a aprendizagem mecânica e à aprendizagem significativa. (Adaptado de Gowin, Novak, 1996)

Nesse sentido, Ausubel não estabelece uma relação directa entre a aprendizagem por recepção e aprendizagem mecânica, ou seja, para ele uma aula expositiva não cria necessariamente uma aprendizagem mecânica, assim como a aprendizagem por descoberta criará sempre aprendizagem significativa. Existem, no entanto, diversas formas de combinação desses elementos, de modo que podemos ter aprendizagem por recepção numa aula expositiva, assim como aprendizagem significativa. A mesma coisa acontece em relação à aprendizagem por descoberta que pode gerar aprendizagem mecânica se se restringir apenas a aplicação de expressões matemáticas.

Para ele, o melhor da aprendizagem significativa seria aquela que se situa no extremo, ou seja, aquela que resulta, por exemplo, da investigação científica, que provém da combinação entre a aprendizagem por descoberta e a aprendizagem significativa. Ausubel refere que a escola ainda hoje privilegia as aulas ditas expositivas, apesar das críticas de muitos investigadores. Mas não coloca de parte a possibilidade de ocorrência de aprendizagem significativa dentro desta perspectiva, desde que se tenha em linha de conta alguns pressupostos como, por exemplo, a identificação de conhecimentos relevantes que sirvam de “âncoras” à nova aprendizagem, na mente do aluno. Estamos a falar da aplicação do teste diagnóstico para detectar os conhecimentos dos alunos antes do início de uma unidade de ensino, por exemplo.

Pensamos que, se for realizada uma boa gestão deste conjunto de aprendizagens, sejam elas mecânicas ou de memorização, (torna-se necessário que os alunos o façam em algumas situações de aprendizagem) por descoberta ou por recepção, o aluno deve estar sempre em primeiro lugar, é ele o elo mais importante e frágil neste relacionamento em que o professor é o mediador de todo o processo.

Para Ausubel, a aprendizagem significativa é importante para o ensino-aprendizagem porque é o mecanismo humano por excelência de aquisição e armazenamento de uma vasta quantidade de ideias e informações representadas por algum campo de conhecimento. Considera ainda que este tipo de aprendizagem é um processo activo, mas requer uma análise dos conhecimentos prévios existentes, a fim de avaliar:

- a) os aspectos mais importantes da estrutura cognitiva do aluno para que o novo material, potencialmente significativo, possa interagir;
- b) a coerência entre as ideias existentes na estrutura cognitiva, que se traduz na detenção das que são da mesma natureza ou que apresentem diferenças e a resolução de problemas onde haja contradições reais ou aparentes entre aqueles conceitos e proposições novas e as já estabelecidas;
- c) distinção do material compreendido em termos das vivências pessoais de cada aluno.

Trata-se então de proporcionar ao aluno situações que sejam potencialmente problemáticas, mas que estejam dentro das suas capacidades. Ausubel considera que à medida que a aprendizagem significativa acontece, surgem mais conceitos integradores. O aperfeiçoamento destes significados conceptuais têm mais sucesso quando se introduzem primeiro os conceitos mais gerais e inclusivos e depois se diferenciam, progressivamente, em termos de pormenores e especificidades (Novak, 2000).

Acredita-se que é através da aprendizagem significativa que as novas ideias ficarão por mais tempo disponíveis na estrutura cognitiva do aluno. Sem receio de ser redundante, aprender de forma significativa, nada mais é do que aprender com sentido, ou com significado, este tipo de aprendizagem permite a evocação das ideias aprendidas quando elas forem necessárias, devido ao facto de serem mais estáveis e disponíveis na mente do aprendente ou seja implica pensar.

Ainda para Ausubel (1998), é no decurso da aprendizagem significativa que o significado lógico do material apresentado ao sujeito, passa a ter significado psicológico. O significado que o aluno dá ao material aprendido tem a marca dele próprio, não basta que o material a ser apresentado ao aluno seja potencialmente significativo (a maioria dos recursos educativos são), mas é necessário que o aluno tenha os “subsunçores” necessários para “fixar” os novos conceitos.

Já Gowin tem uma perspectiva mais social da aprendizagem significativa, na medida em que relaciona o trio, aluno-professor-recursos educativos e nesta perspectiva, o processo ensino-aprendizagem é entendido como uma negociação de significados. Na partilha de significados, o professor apresenta-se como o mediador desta negociação, na medida em que é ele que domina os significados e o aluno pretende apreendê-los. Deste modo cabe ao professor apresentar os significados das mais diversas maneiras e várias vezes se necessário, de modo a tentar entender se os alunos estão a perceber esses significados. Ao aluno compete verificar se os significados que tem de aprender são os aceites pela comunidade científica.

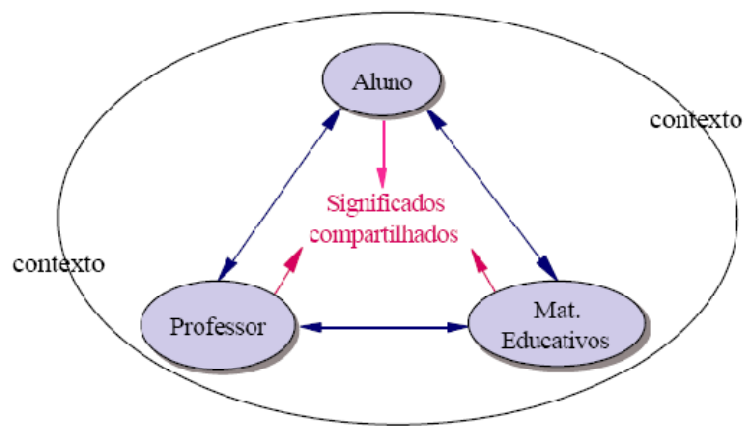


Figura 4 – Visão Social da Aprendizagem Significativa de Gowin

Nesta situação, o aluno deverá ter condições para decidir se quer aprender significativamente e partilhar com o professor as suas angústias, nomeadamente relativas aos materiais utilizados pelo professor ou por ele próprio.

Existem actualmente alguns instrumentos e/ou estratégias facilitadoras da aprendizagem que os professores têm à sua disposição e que se inserem nos ambientes construtivistas até aqui mencionados: Mapas Conceptuais, "V" de Gowin, Simulação e Modelação Computacional, Animação Interactiva, Realização de Actividades Experimentais, entre outros.

1.3.1. Mapas de Conceitos

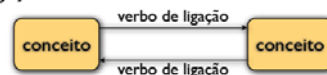
Os mapas de conceitos ou mapas conceptuais foram apresentados nos anos setenta como ferramentas para organizar e representar o conhecimento, pelo investigador americano Joseph Novak e colaboradores na Universidade de Cornell (USA). Os mapas de conceitos têm como base a teoria cognitiva da aprendizagem significativa de Ausubel, daí que Novak tenha visualizado esquemas de conhecimento segundo um conjunto de relações entre diversos conceitos e que poderiam contribuir para o processo de reestruturação em que

se baseia a aprendizagem significativa e por conseguinte facilitar a ancoragem de conceitos. Os mapas de conceitos são diagramas em que os conceitos⁹ estão hierarquicamente dispostos e ligados entre si na forma de proposições (consiste em dois ou mais termos conceptuais ligados por palavras de modo a formar uma unidade semântica ou proposição), através do recurso a palavras de ligação. Na sua forma mais simples um mapa de conceitos é constituído apenas por dois conceitos unidos por uma palavra de ligação de modo a formar uma proposição. Por exemplo “a magnetite é uma rocha” representa um mapa conceptual simples formado por uma proposição válida referente aos conceitos “magnetite” e “rocha”. A maior parte dos significados dos conceitos são aprendidos através da composição de proposições em que se inclui o conceito a ser adquirido, com excepção de um número pequeno de conceitos que são adquiridos desde muito cedo pelas crianças através de um processo de aprendizagem por descoberta.

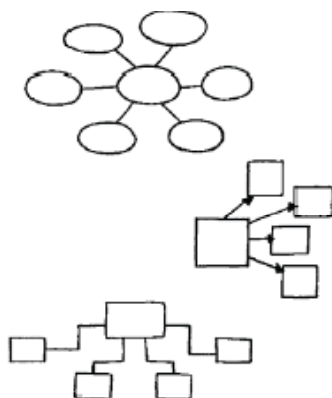
ligação unidireccional



ligação bidireccional



Muitas vezes utilizam-se figuras geométricas, elipses, rectângulos ou círculos onde aparecem os conceitos, como forma de ajudar a traçar um mapa de conceitos, mas não é nenhuma regra que se encontra estabelecida. Assim como nada significam o comprimento e a forma das linhas que ligam os conceitos, esta ligação é interpretada como uma relação entre os conceitos. O tamanho e a forma dessas linhas ficam ao critério de quem constrói o mapa¹⁰.



9 Segundo Novak e Gowin (1996), a palavra conceito está relacionada com uma regularidade nos acontecimentos ou nos objectos que se designam por um certo termo. Conceitos são regularidades percebidas em eventos ou objectos e como tal, cada pessoa pode ter entendimentos conceptuais diferentes sobre um mesmo assunto. Assim sendo os mapas de conceitos podem ser intrinsecamente diferentes, sem nenhum estar errado, pois revelam o modo como o autor do mapa interpreta um determinado assunto, quais os conceitos que considera fundamentais, como os organiza ou como os diferencia.

10 Existem programas gratuitos que ajudam na construção de mapas de conceitos, por exemplo Cmaptools (www.cmaptool.com) e o Inspiration (www.inspiration.com), permite aos utilizadores construir, navegar, partilhar e criticar modelos de conhecimento representados como mapas

conceitos amplos e integradores devem constituir a base da planificação do programa, enquanto os conceitos menos abrangentes servem de directrizes para seleccionar as actividades de ensino mais específicas, incluindo os objectos e os acontecimentos concretos a serem trabalhados e as actividades a serem realizadas (os mapas de conceitos estimulam o poder da nossa visão para compreender informação complexa)¹¹.

Depois de completa a tarefa de aprendizagem, os mapas conceptuais podem mostrar um resumo esquemático do que foi aprendido ou então o professor pode solicitar aos alunos para construírem o seu próprio mapa de conceitos, de modo a tirar conclusões sobre a aprendizagem do aluno e se este alterou a(s) concepção(ões) alternativa(s) que tinha sobre um determinado assunto. Podemos afirmar que não existem “mapas correctos”, pois a sua construção depende de ter ou não ocorrido aprendizagem e de ter ou não havido mudança conceptual, ou seja, se a aprendizagem foi realmente significativa. Se solicitarmos aos alunos que elaborem um mapa de conceitos, todos eles serão diferentes, tudo depende do nível de aprendizagem obtido por cada um.

Para Valadares (2001), os mapas muito lineares são geralmente fracos, pois revelam uma fraca diferenciação e reconciliação integrativa dos conceitos. Os mapas com qualidade devem ser ramificados, com ligações cruzadas de ramo para ramo. Dever-se-ão valorizar alguns aspectos na sua construção:

- a existência de ramificações como numa árvore;
- a correlação das relações entre conceitos;
- a validade dos níveis hierárquicos;
- as ligações transversais entre conceitos de ramos distintos;

Os mapas conceptuais são uma técnica bastante flexível, pois podem ser utilizados em muitas situações e para fins diferentes: como instrumento de análise do currículo, técnica didáctica, recurso de aprendizagem e também

¹¹ A função primária do cérebro é interpretar a informação que nos chega para lhe dar sentido. É mais fácil para o cérebro dar sentido à informação quando esta é apresentada em formatos visuais e daí que lá diz o ditado, “uma imagem vale mais do que mil palavras”.

como meio de avaliação (Moreira e Buchweitz, 1993). Não com o objectivo de testar conhecimentos e atribuir uma nota ao aluno, a fim de classificá-lo de alguma maneira, mas no sentido de obter informações sobre o tipo de estrutura que o aluno vê para um dado conjunto de conceitos, uma avaliação de carácter formativo. Para isso, pode-se solicitar ao aluno que construa o mapa ou este pode ser obtido indirectamente através das suas respostas a testes escritos ou entrevistas orais. Portanto, o uso de mapas conceptuais como instrumentos de avaliação implica uma postura que, para muitos, difere da habitual.

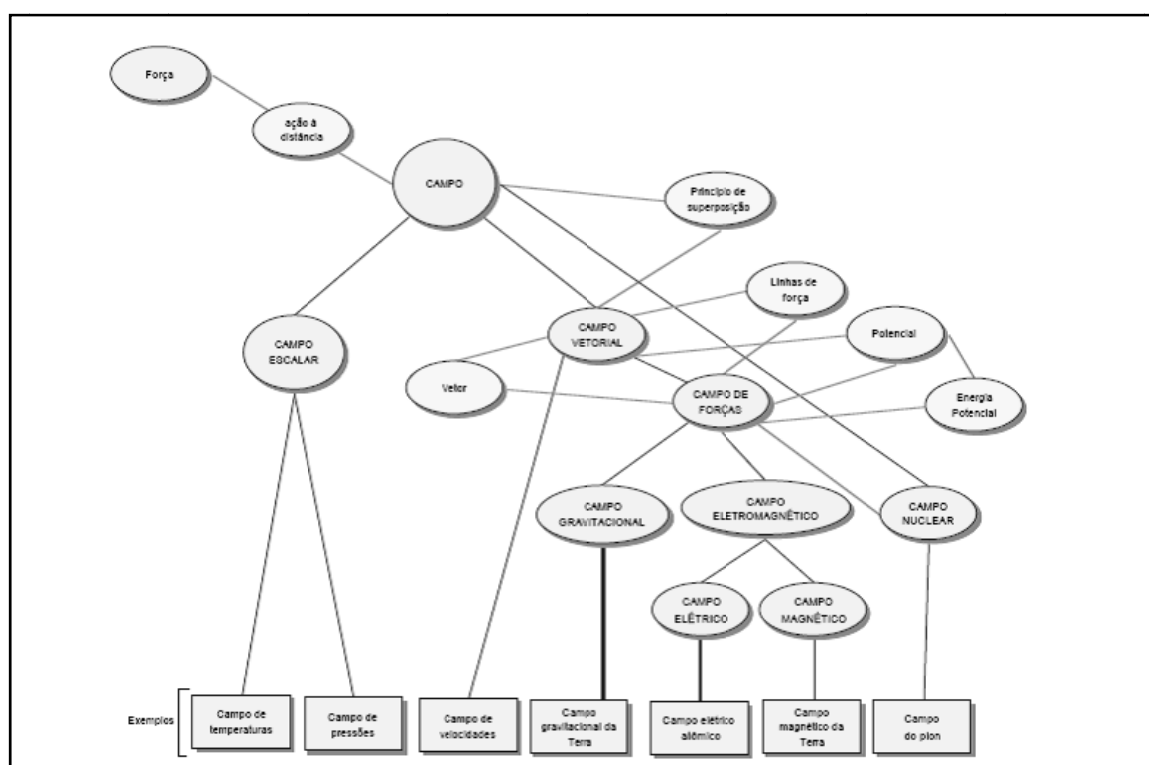


Figura 6 - Um mapa conceptual para o conceito "Campo" (Moreira, 2006)

Na avaliação através de mapas conceptuais a principal ideia é a de avaliar o que o aluno sabe em termos conceptuais, isto é, como estrutura, hierarquiza, diferencia, relaciona, discrimina, integra, conceitos de uma determinada unidade de estudo, tópico, disciplina, etc. Se assim for, torna-se extremamente importante avaliar, da melhor maneira possível, esse conhecimento. O mapa conceptual dá-nos uma visão do conjunto de conceitos

envolvidos e das relações hierárquicas entre eles que pode ser muito útil, para ambos, professor e aluno, obviamente, não se trata de uma representação precisa e completa do conhecimento do aluno, mas uma boa ajuda.

A representação do conhecimento sob a forma de mapas conceptuais desenvolve novas relações conceptuais de uma forma dinâmica e criativa, resultando em *novos conceitos*. Também nos pode auxiliar a trabalhar melhor com esses conceitos assim como ter uma melhor percepção e compreensão dos seus significados. Este facto possibilita o aprofundar desses *novos conceitos* criando a ligação de *novas redes* e dando ideia do impacto na percepção dos significados conceptuais trabalhados e relacionados através de hiperligações (ligações) e nós (conceitos dentro dos conceitos). A utilização dos mapas nos processos de ensino-aprendizagem é fundamental para a organização do conhecimento dos alunos, dando maior visibilidade a esses conhecimentos, possibilitando ao professor valorizar o "saber" do aluno em detrimento do "não saber", valorizando e trabalhando positivamente a sua auto-estima, com ganhos significativos para a realização e concretização da aprendizagem.

No entanto há que ter algum cuidado na elaboração de mapas de conceitos, porque se é o professor a construir um mapa para o aluno interpretar, demasiada informação poderá provocar um efeito contrário, em vez de promover o conhecimento, que passa por entender as relações mais significativas entre conceitos, irá criar-se situações conflituosas ao nível de novos conceitos que o aluno deveria ter construído.

Tudo depende da finalidade com que um mapa é construído e de quem o constrói. A figura seguinte parece-me um bom exemplo do que foi mencionado, demasiada informação e um elevado número de ramificações, poderemos dividi-lo em dois a fim de possibilitar uma leitura e interpretação mais acessível, mas está correcto cientificamente. Mas se a intenção foi perceber se o aluno relaciona conceitos e aprendeu significativamente, então o mapa de conceitos anterior reflecte uma aprendizagem realmente efectiva.

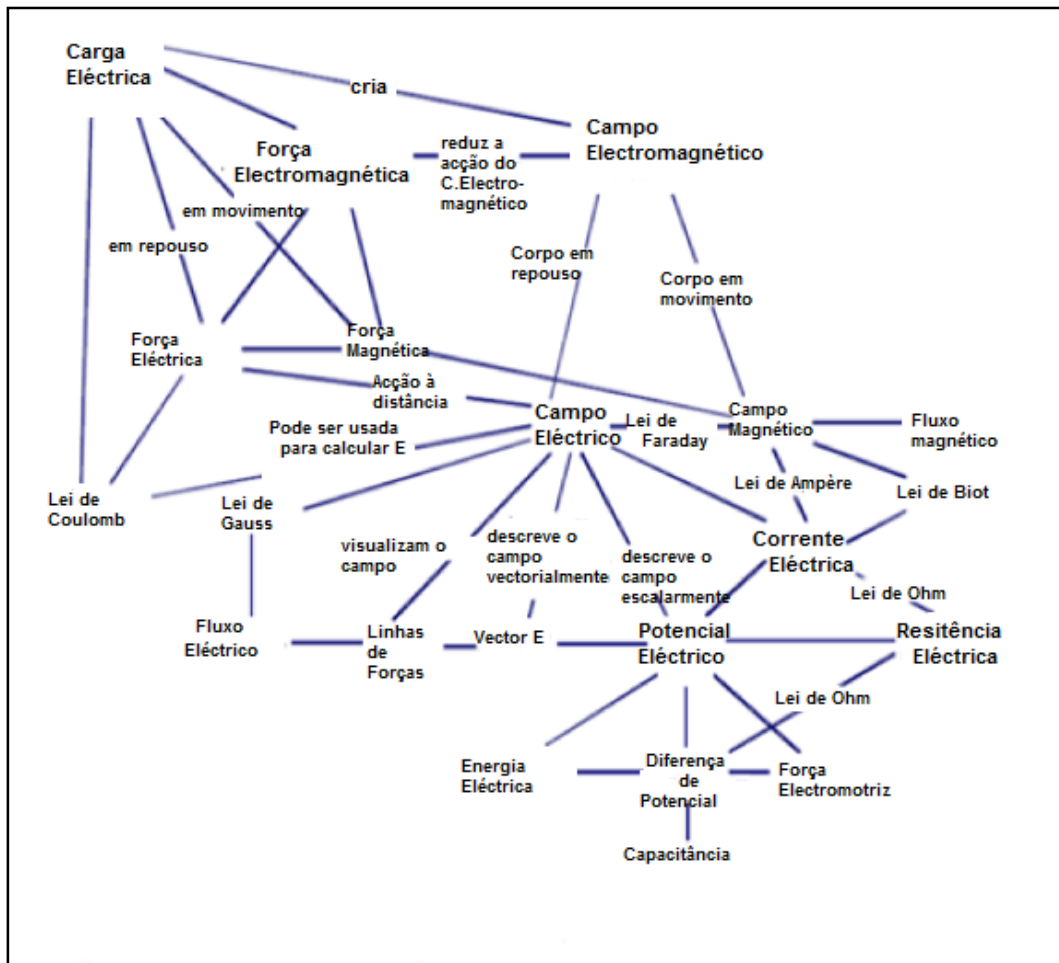


Figura 7 - Mapa de conceitos utilizado como recurso de aprendizagem num curso de Electricidade e Magnetismo, (adaptado de Moreira 2006)

Por outro lado existem mapas que me parecem demasiado simples, mas que foram construídos para alunos do ensino básico.

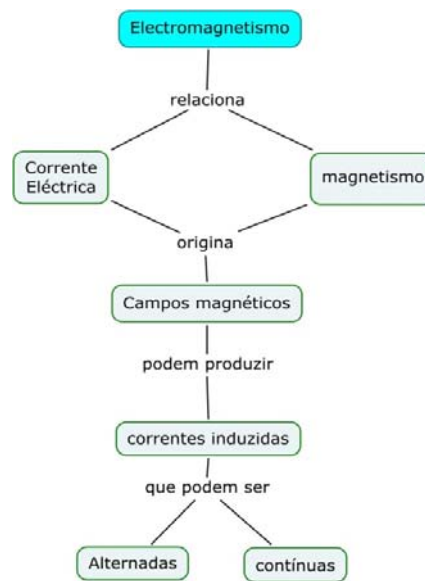


Figura 8 – Mapa de Conceitos “Electromagnetismo”

Na figura seguinte surge um exemplo de um mapa de conceitos que pretende organizar a temática da Aprendizagem Significativa de Ausubel e algumas das estratégias facilitadoras deste tipo de aprendizagem.



Figura 9 - Exemplo de um mapa de conceitos relativo à Aprendizagem Significativa

1.3.2. “V” de Gowin

Gowin apercebeu-se que os alunos saíam das aulas de laboratório com pouca ou nenhuma noção do que tinham estado a fazer, pois simplesmente seguiam protocolos experimentais do tipo “receita”.

Desenvolve então o **método das 5 perguntas** (o equivalente a uma ficha de leitura), que numa primeira fase se destinou a explorar o conhecimento que um artigo científico, um capítulo de um livro ou uma actividade experimental envolvia:

1. Qual é a questão determinante do trabalho ou questão-foco do trabalho?
2. Quais são os conceitos-chave?
3. Quais são os métodos que foram utilizados para responder à questão-foco?
4. Quais são os principais juízos cognitivos¹² no trabalho?
5. Que juízos de valor¹³ foram realizados no trabalho?

Trata-se, sem dúvida, de questões importantes que tanto apoiam o aluno no laboratório como o ajudam a tornar claro um determinado conteúdo que tem de trabalhar e explorar. Para Gowin a aprendizagem, enquanto processo de pesquisa individual e idiossincrática¹⁴, distingue-se do ensino, um acto social, e deverá ser encarada como uma estrutura em que a interacção entre os acontecimentos, os conceitos e os factos desempenha um papel decisivo. No processo de ensino-aprendizagem, o professor e o aluno estão, pois, intimamente envolvidos num *partilhar* de significados a respeito dos conhecimentos transmitidos pelos diversos recursos educativos. O currículo, o professor e o aluno são, portanto, elementos indissociáveis e que se influenciam mutuamente.

Na sequência do método das cinco perguntas e como resultado de muitos anos de investigação Gowin construiu, por volta de 1970, um instrumento que,

¹² Constituem interpretações e generalizações razoáveis das conclusões e que procuram responder à questão-foco.

¹³ São declarações da qualidade da pesquisa e baseiam-se nos juízos cognitivos.

¹⁴ Disposição que leva a que cada indivíduo sinta de uma forma própria a influência de diversos agentes e a que eles reaja (fonte: Dicionário Enciclopédico da Língua Portuguesa, 1992).

tal como os Mapas de Conceitos, tem a vantagem de estruturar e organizar o conhecimento.

Foi designado por “V” de Gowin, “V” do conhecimento, “V” heurístico¹⁵ ou “V” epistemológico¹⁶. O “V” de Gowin é um instrumento que tem como objectivo principal ajudar os estudantes e professores a clarificar a natureza e os objectivos do trabalho experimental em Ciências, mas pode ser utilizado noutras áreas de conhecimento. Os cientistas estão geralmente de acordo quanto à importância do trabalho experimental para a compreensão dos conceitos; assim, os efeitos relativamente pequenos que o trabalho experimental tem provocado nos resultados escolares dos alunos parecem ser um enigma! Como causa, aponta-se o facto de os alunos prestarem, de um modo geral, atenção considerável e explícita aos fenómenos e objectos, e raramente se preocupam com os conceitos, princípios ou teorias que orientam as suas observações.

Os diagramas de Gowin partem de uma questão central, que se coloca na parte superior do «V» e a partir da qual tudo se desenvolve. Encontram-se divididos em duas áreas bem distintas: o «domínio ou ala conceptual», o saber, e o «domínio ou ala metodológica», o fazer, ligado pelos acontecimentos ou procedimentos. Gowin construiu o seu diagrama de modo a que todos os seus elementos interagissem uns com os outros no processo de construção de um novo conhecimento.

No lado esquerdo do “V” indicam-se os aspectos teórico-conceptuais que, de forma mais ou menos explícita, contribuem para a reflexão sobre os acontecimentos e objectos a conhecer, para as observações e registos a fazer, para as transformações destes de modo a retirar conclusões válidas e para os juízos que respondem às questões-foco, e reflectem o valor destas respostas com base no valor de todo o processo que a elas conduziu.

¹⁵ A heurística de uma teoria deveria particularmente indicar os caminhos e possibilidades a serem aprofundadas na tentativa de torná-la uma teoria progressiva, isto é, capaz de garantir um desenvolvimento empírico, prevendo factos novos não percebidos no momento da elaboração do núcleo dessa teoria (auxilia na resolução de problemas). Fonte: Wikipédia.

¹⁶ É epistemológico, porque permite entender a estrutura da produção do conhecimento e as componentes fundamentais dessa produção.

No lado direito, registam-se os dados resultantes das observações feitas, as transformações produzidas nesses dados de modo a extrair deles significados, os juízos cognitivos como respostas às questões-foco e os juízos de valor relacionados com todo o processo de investigação efectuado.

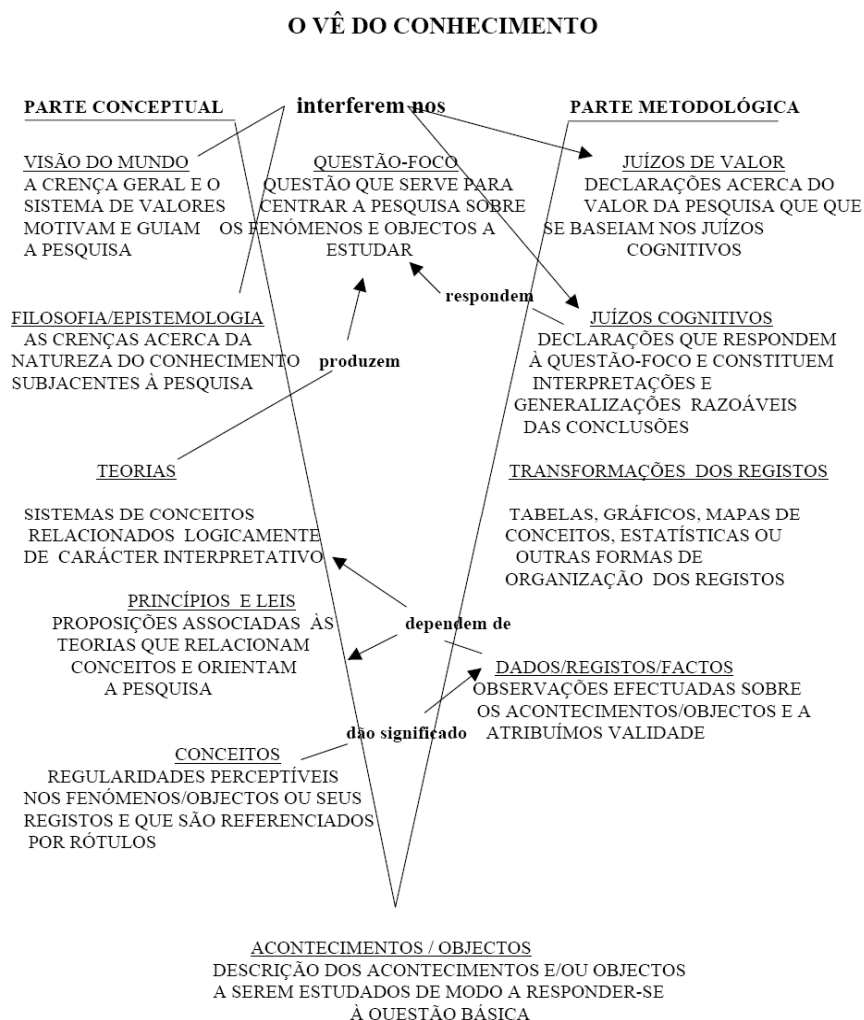


Figura 10 - Construído com base no "V" de Gowin (Gowin, Novak, 1996).

O diagrama de Gowin é uma estratégia cognitiva que permite ensinar "significativamente" (Ausubel, 2003); os estudantes são ajudados a reconhecer:

- quais os acontecimentos ou objectos que estão a observar;
- quais os conceitos que conhecem, relacionados com esses acontecimentos / objectos;
- quais os registos que vale a pena fazer.

Foi no trabalho experimental que os “V’s” de Gowin foram testados com mais sucesso, como já foi mencionado, em substituição do habitual relatório (Moreira, 1980). Este instrumento construído após a realização de uma actividade experimental, forneceria, em princípio, informações sobre o que na realidade foi aprendido. Um estudo nesse sentido foi conduzido por Jamett (1985) no qual obteve evidências de que o “V” é realmente útil na avaliação da aprendizagem decorrente da realização de uma determinada actividade em laboratório. Novak e Gowin (1996) retiram as seguintes conclusões em relação ao uso do “V”:

“No laboratório, numa sala de aula ou trabalho de campo o “V” pode servir como uma ferramenta de avaliação especialmente valiosa. [...] A nossa experiência diz-nos que os alunos, apesar da natureza desafiadora da construção do “V”, reagem positivamente a essa actividade. Especialmente quando comparada com os tradicionais relatórios, a construção de “V’s” é uma maneira sintética de expor a compreensão que os alunos têm de um tópico ou de uma área de estudo e, além disso, ajuda-os a organizar as suas ideias e informação diversa. Os alunos reconhecem que podem ser mais trabalhosos do que escrever relatórios, mas que construir “V’s” ajuda-os a compreender melhor os conteúdos de um determinado assunto.”

Ensino, currículo, aprendizagem, juntamente com o contexto, formam os chamados lugares comuns da educação no sentido de que directa ou indirectamente estão envolvidos em todo o fenómeno educacional. Não é de surpreender, portanto, que o “V” epistemológico, desenvolvido originalmente para identificar conhecimentos documentados em materiais curriculares, possa também servir como recurso de ensino e aprendizagem. Como foi referido, tanto os Mapas de Conceitos como o “V” de Gowin podem ser usados ora como instrumentos de análise do currículo, como instrumentos de avaliação, ou como recursos de ensino-aprendizagem, tudo depende da finalidade a que se destinam. Daí o seu interesse como ferramenta de aprendizagem significativa, de metac conhecimento e de avaliação formativa e, mais do que formativa, formadora, auto-reguladora da própria construção do conhecimento pelo aluno.

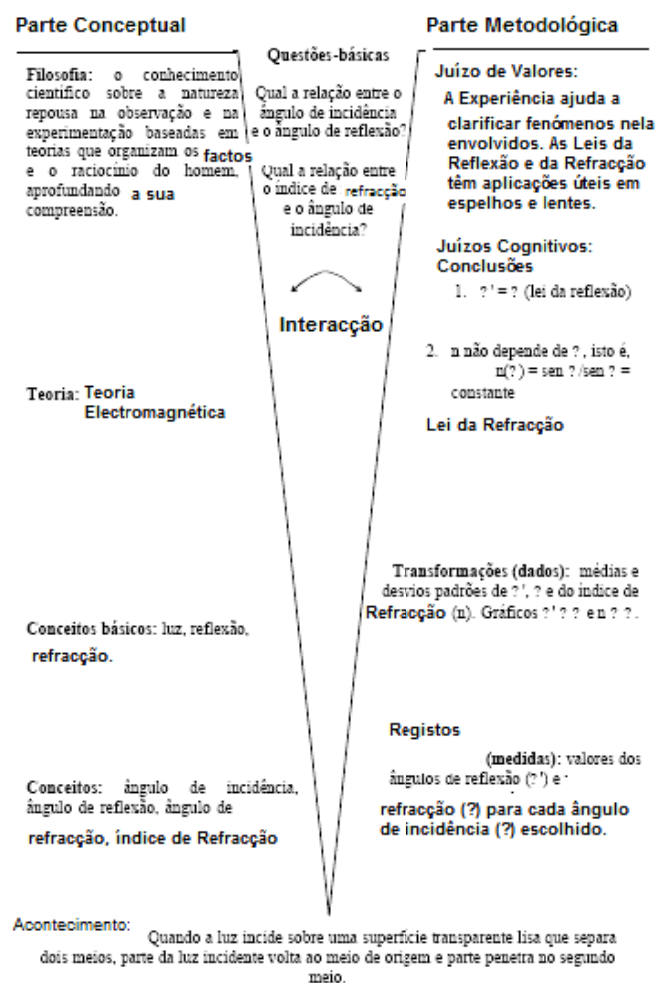


Figura 11 - Um exemplo de um "V" de Gowin abordando as Leis da reflexão e da refração, (adaptado Moreira, 2006)

1.3.3. Aprendizagem Colaborativa

Uma outra ferramenta ao nosso dispor e que alguns professores, em pleno séc. XXI, ainda se recusam a utilizar em sala de aula é o computador e a Internet. Esta metodologia de trabalho é uma estratégia que se insere no construtivismo, que norteia esta dissertação e que possibilita e promove

ambientes de aprendizagem colaborativos e/ou cooperativos¹⁷. Estes ambientes baseiam-se numa arquitectura pedagógica de construção de conhecimento colectivo e que pode ser também concretizada numa aprendizagem em rede (ensino on-line).

A aprendizagem colaborativa e cooperativa¹⁸ é uma outra forma, ao nosso alcance, de superar as dificuldades de aprendizagem e promover o espírito de grupo e de partilha nos alunos. Mas nem sempre a actividade de grupo é bem conseguida. Na maioria das vezes, tanto no ensino presencial como no ensino on-line, ocorre uma distribuição de tarefas entre colegas, cabendo a cada um fazer a sua parte, o que por vezes não resulta.

A expressão “**aprendizagem colaborativa**” descreve uma situação na qual se espera que ocorram formas particulares de interacção entre pessoas, capazes de desencadear mecanismos de aprendizagem, mas sem que haja garantia de que as interacções esperadas ocorram. Neste sistema de aprendizagem o professor passa a ser mediador de todo o processo e o aluno interage, articula, negocia e partilha sendo o centro de todo o processo. Neste contexto, temos o ensino on-line, que nas escolas se materializa sob a forma de correio electrónico, criação de Blogs, páginas pessoais e utilização de plataformas e-learning¹⁹ como por exemplo o Moodle. O ensino-aprendizagem on-line é actualmente cada vez mais utilizado nas escolas, mas as competências²⁰ requeridas para a sua utilização são cada vez mais exigentes não só ao nível da tecnologia que envolve, mas também a preparação de recursos e avaliação dos mesmos. O professor deve utilizar em seu próprio

¹⁷ A aprendizagem colaborativa não é recente, este conceito tem sido com frequência implementado na sala de aula, se pensarmos que um trabalho de grupo é um trabalho em que a colaboração entre os elementos do grupo é essencial. Esta estratégia começou a ser utilizada no séc. XVIII pelos investigadores que utilizaram os seus alunos como ajudantes e futuros sucessores. Mas só na década de 90 (séc.XX), ganhou outro estatuto com a utilização das TIC e da Internet e na utilização do ensino à distância nas Faculdades (nas escolas só há bem pouco tempo se iniciou a sua divulgação e utilização).

¹⁸ Há autores que consideram que apresentam diferenças no que diz respeito às perspectivas teóricas e práticas; outros porém utilizam-nos como se fossem sinónimos.

¹⁹ O *e-learning* é uma forma de aprendizagem suportada por um conjunto de ferramentas disponíveis na Internet. Este processo facilita a aproximação entre pessoas com experiências e saberes diferentes, o que pode potenciar níveis elevados de conhecimento.

²⁰ Competência envolve uma série de conhecimentos, habilidades e atitudes relacionadas, que ajudam o profissional a desempenhar bem as actividades inerentes a uma determinada função. (www.ibstpi.org).

proveito este potencial que está ao seu dispor, para aprendizagem dos alunos e a sua própria. A interactividade e participação, “feedback” em tempo real, a gestão do trabalho, moderação e alguma facilidade requerem muito trabalho da parte do professor, principalmente na fase inicial da sua preparação.

As comunidades de construção de conhecimento, ou de aprendizagem, propostas por Brown e Campione (1996), devem ser entendidas como espaços onde se procura o equilíbrio entre as necessidades sociais e individuais, ao serem proporcionadas (aos aprendentes) estruturas de participação específica e de actividade para a aprendizagem social, para a colaboração, a comunicação e a construção de conhecimento.

As ideias-chave destas comunidades de conhecimento e aprendizagem são:

- O conhecimento é socialmente construído pelos membros de uma comunidade;
- A interacção pode levar à aprendizagem individual, enquanto a compreensão pode ser resultante da participação em formas de interacção e comunicação sociais, ou devida à participação numa comunidade de prática ou de aprendizagem;
- A colaboração com os pares ou outros mais competentes pode conduzir à compreensão individual e a formas partilhadas de conhecer;
- Actividades de pesquisa, interpretação, comunicação e partilha podem ajudar os alunos a tornarem-se construtores mais activos do próprio conhecimento, além de desenvolverem o pensamento crítico;
- A participação numa comunidade fornece à aprendizagem um contexto social de que dá suporte às tarefas e às actividades em que os alunos estão envolvidos, tendo em vista o desenvolvimento de uma base de conhecimento partilhado;
- A autoridade e o controlo sobre o conhecimento recolhido são progressivamente transferidos para os alunos, o que estimula a aquisição de habilidades de metac conhecimento, e reforça a auto-estima;

- Dentro de cada comunidade, os alunos são produtores e consumidores de conhecimento, não apenas para eles mas também para a comunidade, uma vez que o conhecimento é distribuído entre os seus membros, através da interacção social, da colaboração e da comunicação;
- Os alunos com mais dificuldades de aprendizagem praticam e interagem com os seus pares e com outros mais capazes.

Exemplos da concretização de comunidades de aprendizagem:

- Situações em que os professores modelam e orientam, passando posteriormente o controlo sobre as habilidades metacognitivas para os seus alunos, que as usam numa área curricular específica;
- Actividades que incluem pesquisa e publicação de materiais orientados para tarefas de construção de conhecimento que sejam autênticas e significativas para os estudantes;
- Salas de aula onde os pares actuam como produtores e consumidores de conhecimento, e onde existem recursos para a construção desse conhecimento;

Muito embora, com o desenvolvimento de novos meios de informação e comunicação, o professor deixe de ser o principal meio de passagem da informação e uma vez que a informação só por si não é conhecimento, o aluno vai continuar a necessitar da orientação de alguém que tem de ter condições para trabalhar essa informação, segundo Marchessou²¹ (2001), *"o papel do professor não tende a reduzir-se mas antes a diversificar-se"*.

Para o sucesso do ensino construtivista, o maior entusiasta tem de ser o professor, este deve ter a capacidade de assumir a sua posição de mediador entre conhecimento imediato (subjectivo) e o conhecimento científico (objectivo) como afirma Santos (1992). A utilização da Internet na sala de aula

²¹ François Marchessou, Professor na Universidade de Poitiers, França. Consultor em tecnologia de educação à distância,

exige do professor uma grande disponibilidade para prestar eventual suporte tecnológico aos seus alunos, que utilizam ferramentas diversas e sobre as quais podem ter graus de conhecimento muito diversificados.

Os professores que recorrem à utilização da Internet como recurso pedagógico na sala de aula não podem esquecer que terão de disponibilizar muito do seu tempo na pesquisa e selecção antecipada de sítios apropriados para os seus alunos visitarem. A selecção de informação é pois uma etapa essencial. Embora seja uma tarefa árdua, tem as suas compensações, pois doutra forma esse tempo seria desperdiçado no período de aula, o que não convém, pois o tempo já em si limita muito a planificação de uma aula. Os professores devem investir na planificação das suas aulas, para que os seus alunos, quando utilizarem a Internet, possam aproximar tarefas aos objectivos inicialmente propostos. Uma navegação livre é sinónimo de desperdício de tempo, pois permite o desvio da atenção dos alunos para outros sítios que nada têm a ver com o assunto a ser estudado. Deste modo, os professores interessados em integrar e em beneficiar do uso da Internet como recurso pedagógico devem proceder com muito cuidado, de forma sistemática, e devem fornecer aos seus alunos que os não tenham os conhecimentos básicos sobre a utilização do computador antes de avançar para outras tarefas mais complexas relacionadas com a utilização da Internet.

Conclui-se, pois, que uma aula devidamente preparada, com as tarefas a realizar, as questões a resolver e o material de apoio a utilizar, em conformidade com determinados objectivos e tendo em vista o desenvolvimento de competências específicas, é fundamental para o sucesso da aprendizagem, sempre com o professor como moderador.

1.3.4. Simulação e Modelação

Tomando como referências o que foi dito anteriormente, a modelização/simulação é cada vez mais uma das formas mais frequentes de aprendizagem da Física usando o computador. O termo modelização não costuma ser utilizado quando a ênfase é dada à programação do modelo, ao passo que a simulação se refere à situação em que o modelo é uma “caixa negra”. Esta distinção é de alguma forma artificial e nem sempre clara (Fiolhais e Trindade, 2003). Uma vez que as leis da Física são expressas por equações, pode construir-se um modelo e simular de imediato um dado problema físico.

A disciplina de Física é considerada difícil e trabalhosa para grande parte dos alunos, pois “têm que saber” fórmulas cuja origem e finalidade são desconhecidas e que a maioria aplica de uma forma mecânica. A Física estuda o mundo à nossa volta mas as ideias e conceitos que utiliza para o “ver” são muito sofisticadas, resultantes do trabalho efectuado pelo homem ao longo de centenas de anos de estudos. Ser capaz de “traduzir” esses conceitos de modo a tornarem-se compreensíveis para o aluno é muitas vezes uma tarefa algo complicada para o professor. Para dar resposta a este problema, foram realizados diversos estudos que demonstraram que a interactividade é importante no processo ensino e aprendizagem da Física. Frequentemente, no estudo do electromagnetismo, assim como de outros conteúdos em Física a possibilidade mais tradicional de interactividade é a realização de actividades experimentais para explorar determinados conceitos. Mas tem-se verificado que mesmo a utilização intensiva de aulas em laboratório não faz com que os alunos os compreendam mais facilmente. A construção de Mapas de Conceitos e Diagramas de Gowin são algumas das técnicas utilizadas, mas a utilização da Simulação e Modelação Computacional, utilizando ferramentas de modelação, por exemplo o Modellus²², entre outros²³ tem sido mais uma forma de contornar o problema. Este programa pode também ser utilizado como

²² Software educacional gratuito de Simulação e Modelação desenvolvido na FCT/UNL por Vítor Teodoro e colaboradores, utilizado no ensino das Ciências e da Matemática com o objectivo de construir diversas representações de uma mesma situação.

²³ Folha de Cálculo, Sistema de matemática computacional (Mathcad, Mathematica, Matlab, Maple), Sistemas de Aquisição de dados (DataStudio, Logger Pro), etc.

complemento às actividades experimentais em laboratório ou em sala de aula. O Modellus é um software baseado na ideia de que o modo como se pensa num modelo matemático com papel e lápis deve estar tão próximo quanto possível do modo como se pensa no modelo com o computador. Este software permite a exploração de modelos baseados em funções e em equações diferenciais. O motor de cálculo é também capaz de determinar derivadas simbolicamente. O utilizador pode construir “animações”, gráficos e tabelas com base nas grandezas do modelo. A figura 12 mostra a força electromagnética ou força de Lorentz (soma vectorial das forças eléctrica e magnética) criada por uma carga eléctrica em movimento de massa ‘m’ e as relações matemáticas associadas.

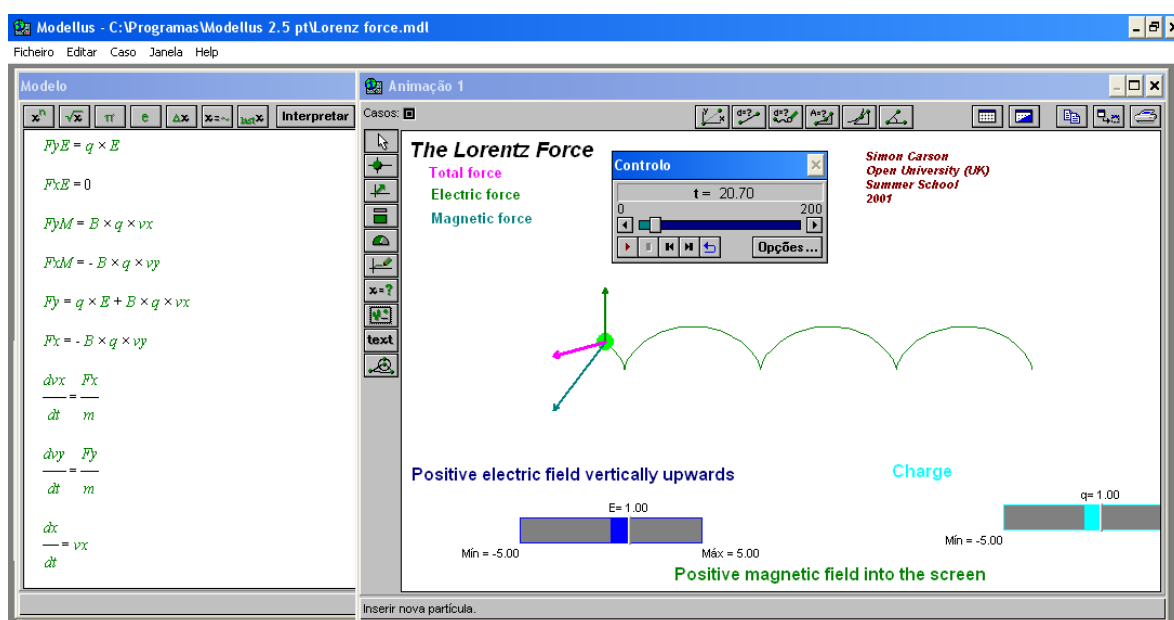


Figura 12 - Modelação e simulação da Força electromagnética, (Fonte: Modellus 2.5)

A utilização da modelação no ensino e aprendizagem facilita a compreensão de um determinado conteúdo, assim como contribui para o desenvolvimento cognitivo do aluno e facilita a construção de relações e significados promovendo a aprendizagem, podendo (Veil, Teodoro, 2002):

- *aumentar o nível do processo cognitivo, exigindo que os alunos pensem, raciocinem, generalizando conceitos e relações;*

- *exigir que estes definam melhor as suas ideias;*
- *proporcionar oportunidades para que testem os seus próprios modelos cognitivos, detectando e corrigindo deficiências.*

Embora as simulações não devam substituir a realidade que representam, elas são muito úteis para abordar experiências difíceis ou impossíveis de realizar na prática (por serem muito caras, muito perigosas, demasiado lentas, demasiado rápidas, etc.). Quando se revestem de um carácter de “jogo”, as simulações fornecem uma recompensa pela realização de um certo objectivo.

Mas nem tudo é tão simples como parece, pois para chegar ao modelo representado, tivemos que evoluir e deixar o ensino tradicional da física para um ensino mais próximo da realidade. Esta mudança é lenta e não passa só pelos alunos, mas principalmente pelos professores que cada vez mais terão de ser também alunos e investigadores para poderem responder a todas as solicitações que surgem diariamente.

1.3.5. Animação Interactiva em tempo real

Enquanto na modelação, os alunos constroem os modelos matemáticos, a animação interactiva possibilita ao aluno uma simulação em tempo real, bastando para isso introduzir valores e carregar em ‘Start’. As diferentes situações já estão criadas, e torna-se possível visualizá-las de imediato, o que não seria possível e/ou executável numa actividade de laboratório. Mostram-se a seguir algumas hipóteses de trabalho em Electromagnetismo, onde os Applets de Fendt²⁴, escritos em linguagem Java, são uma boa e também “demasiado” fácil hipótese de trabalho.

²⁴ Podem ser obtidos gratuitamente em www.walter-fendt.de. Além desta aplicação, existe uma outra em português do Brasil, que também tem exemplos de simulações em diversas áreas da Física, www.phy.ntnu.edu.tw/oldjava/portuguese/.

A – Campo Magnético criado por uma corrente que percorre um fio condutor

Uma corrente eléctrica produz um campo magnético, este “Applet” simula essa situação, uma corrente eléctrica passa no fio eléctrico colocado na vertical, criando um campo magnético que é detectado por uma bússola em que o pólo norte é o extremo vermelho e o pólo sul, o verde. O sentido da corrente é dado pela seta vermelha, observam-se uns pequenos pontos a deslocarem-se no sentido contrário ao da corrente, os electrões. Pretende-se com esta simulação que os alunos visualizem a direcção e sentido do campo eléctrico (azul). Nesta actividade os alunos podem inverter o sentido da corrente e visualizar o que sucede.

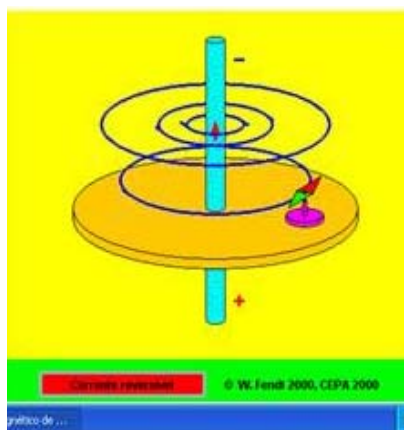


Figura 13 - Campo magnético criado por uma corrente que percorre um fio condutor (www.walter-fendt.de).

B – Força de Electromagnética ou de Lorentz

Este segundo applet mostra-nos a Força electromagnética (ou de Lorentz) exercida num condutor que transporta uma corrente eléctrica, quando é colocado perto de um íman em “U”. Diversas situações se colocam ao aluno:

- pode-se abrir ou fechar o circuito, utilizando “Ligar/Desligar”;
- inverter o sentido da corrente e do campo magnético uniforme;
- seleccionar o que se pretende visualizar, o sentido da corrente, o sentido e direcção do campo magnético ou da força electromagnética.

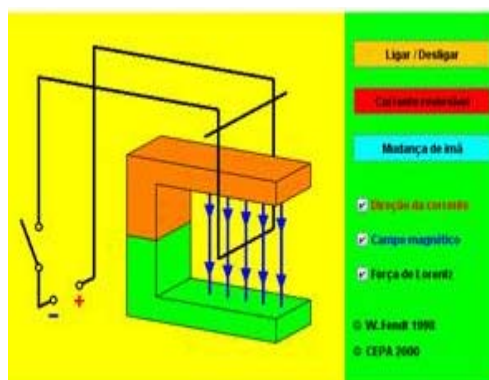


Figura 14 - Força Electromagnética (www.walter-fendt.de)

C - Motor de Corrente Contínua

Este applet mostra de uma forma muito simples o funcionamento de um motor de corrente contínua. As setas vermelhas indicam o sentido da corrente eléctrica, as azuis o sentido e direcção do campo magnético e a seta preta a força magnética. Pode-se variar o nº de rotações/min. do condutor, assim como seleccionar o que se pretende visualizar, o sentido da corrente, sentido e direcção do campo magnético ou da força magnética.

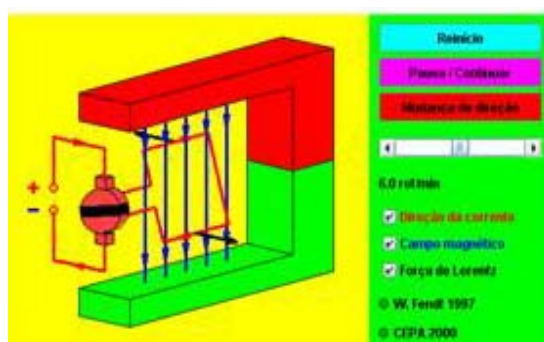


Figura 15 -Motor de corrente contínua (www.walter-fendt.de)

D – Gerador

Este applet simula o funcionamento de um gerador onde se pode seleccionar se pretendemos obter corrente contínua (CC) ou corrente alternada (AC), visualizando-se no ecrã a sua representação gráfica. Permite ao aluno:

- Seleccionar se pretende obter corrente contínua (CC) ou corrente alternada (AC);
- Inverter a rotação da espira, assim como alterar a sua velocidade de rotação;
- Seleccionar o que se pretende visualizar, o sentido da corrente, sentido e direcção do campo magnético ou da força magnética.

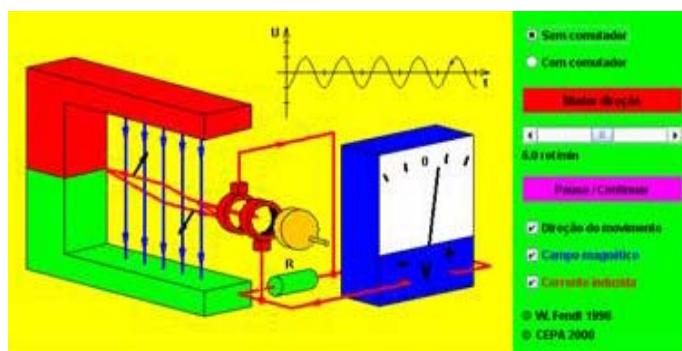


Figura 16 - Gerador (www.walter-fendt.de)

A interacção tem alguns aspectos positivos como, por exemplo, podermos visualizar em tempo real o que acontece quando se altera o valor de determinada grandeza física.

Segue-se um outro programa de simulação cuja designação é Physics Education Technology (Phet). Este projecto foi desenvolvido na Universidade do Colorado, utiliza linguagem Java e Flash e foi elaborado com o objectivo de ajudar os professores e os alunos no ensino da Física e da Química. É constituído por um conjunto de simulações animadas e interactivas onde os alunos aprendem através das várias possibilidades de exploração que lhe são oferecidas. Apresenta-se de seguida dois exemplos, o primeiro ao nível do 3º ciclo e o segundo para o 11º ano.

A - Bússola e Íman

Explora as interações existentes entre um íman e a Bússola, podendo adicionar a Terra e observar as alterações. O aluno pode ainda inverter os pólos do íman ainda medir a intensidade do campo magnético, visto poder também alterar a intensidade da força magnética.

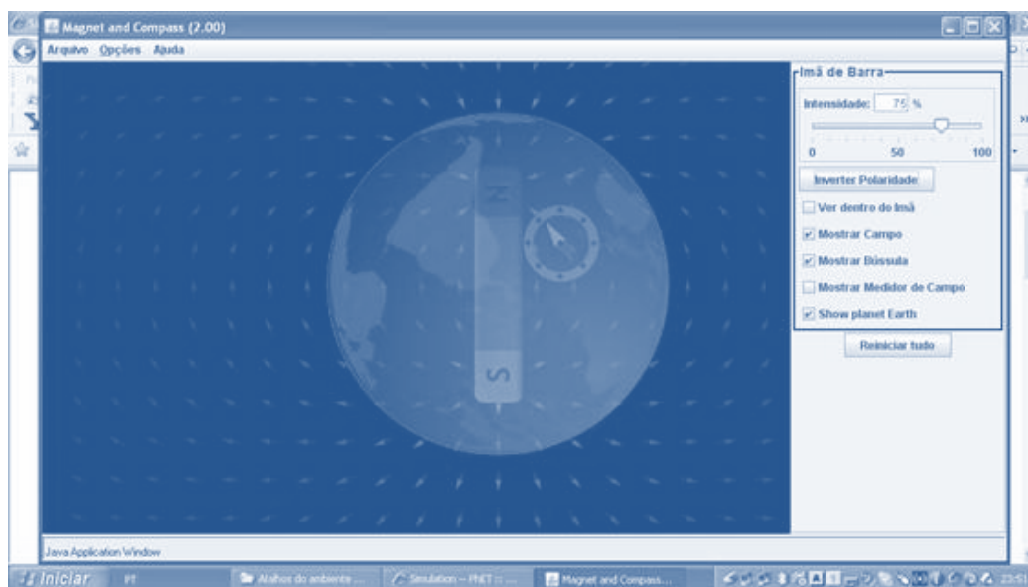


Figura 17 - A Terra e a identificação dos pólos magnéticos (<http://phet.colorado.edu>).

B – Lei de Faraday

Nesta simulação, observa-se a indução electromagnética, movimentando-se um íman no interior de uma espira. Pode-se alterar o número de espiras, visualizar ou não as linhas de campo, inverter os pólos do íman e observar as alterações no sentido da agulha no galvanómetro, assim como se pode variar a intensidade luminosa de uma lâmpada, de acordo com a intensidade do campo magnético criado.

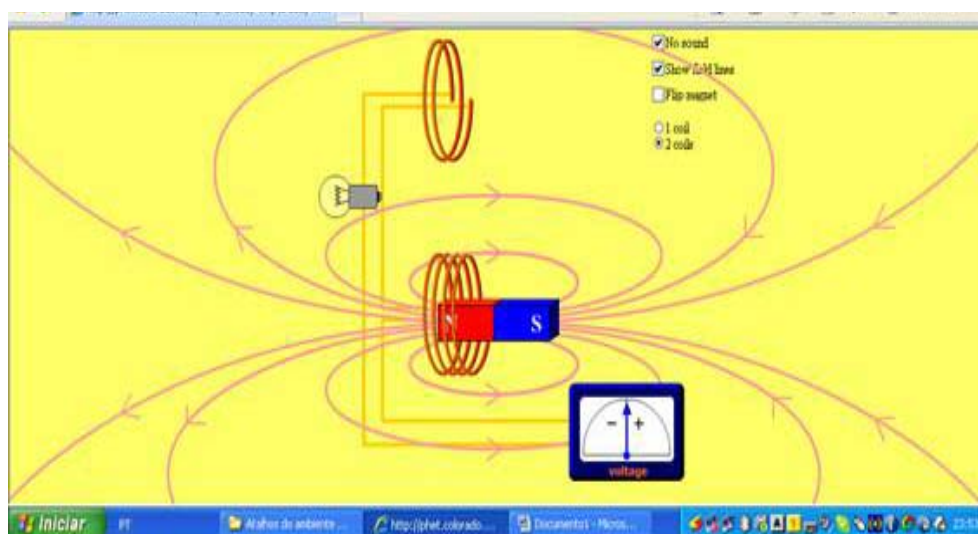


Figura 18 - Indução Magnética (<http://phet.colorado.edu>).

A interacção tem aspectos positivos, mas também alguns negativos. Não devemos exagerar na sua utilização, devemos saber fazer uma boa gestão de todos os recursos que actualmente o professor tem à sua disposição. A interactividade é facilitada pela internet, mas exige, em contrapartida, uma exploração competente. O potencial desta tecnologia cria a situação na qual o aluno controla um conjunto de variáveis. É uma conquista para o processo ensino-aprendizagem, mas traz implicações na medida em que se o aluno não tem os conceitos bem aprendidos, não aprendeu significativamente, simplesmente irá "brincar" e não consegue tirar partido da interactividade. O professor tem aqui uma função importante, o de mediador e orientador de todo o processo.

2. Concepções Alternativas

2.1 Introdução

No processo ensino-aprendizagem em Ciência, o conhecimento que os alunos possuem nem sempre é compatível com a nova informação que irá ser adquirida. Cada aluno chega à sala de aula com “uma física”, “uma química”, “uma biologia” e “uma geologia” óbvias para ele e também com um conhecimento informal sobre o mundo social, histórico e económico, para além de uma psicologia intuitiva que, no seu dia-a-dia, lhe conferem adaptabilidade (Pozo, 1996). Isto acontece porque os alunos constroem explicações evidentes para eles, de fenómenos físicos que têm a sua origem nas experiências do seu quotidiano e que, na maioria das vezes, diferem das explicações cientificamente aceites – são as chamadas “concepções alternativas” (Leite, 1993) ou “ideias alternativas” (Duarte, 1987). Também designadas por “ideias prévias” ou “concepções prévias” (Ausubel et al, 1980) e ainda pré-concepções (preconceptions) e concepções erróneas (misconceptions). Estas são identificadas em todo o processo ensino-aprendizagem e frequentemente entram em colisão com ele. A grande maioria dessas concepções está de tal modo enraizada na estrutura mental do aluno que resiste à mudança.

A origem das **concepções alternativas** dos alunos é um campo de interesse para um grande número de investigadores no ensino da Ciência. Pozo *et al.* (1991) e Pozo (1996) referem que as concepções dos alunos se desenvolvem através de três formas: aquela que assenta predominantemente na observação dos fenómenos – *concepção sensorial*; a que se forma a partir da influência que o grupo social que o rodeia exerce sobre o aluno – *concepção social*; e aquela que tem origem no interior deste, isto é, é ele próprio que tenta encontrar explicações para os fenómenos que observa – *concepção analógica*. Segundo Pozo (1996) o conhecimento destes aspectos contribui certamente para ajudar os professores a diagnosticar e compreender as ideias dos alunos, a escolher as estratégias mais adequadas à sua abordagem didáctica e a reflectir sobre as próprias práticas.

2. 2 Movimento das Concepções Alternativas

O movimento das concepções alternativas teve como precursores Piaget e Ausubel: Piaget, por ter estudado as representações que se formam espontaneamente nas crianças como resultado das suas experiências pessoais; Ausubel, porque considerou a "estrutura cognitiva" do sujeito do conhecimento um instrumento decisivo para a integração de novas informações e de novos conceitos (Santos 1992).

Um outro investigador, Bachelard (1991), refere ainda:

“ As concepções alternativas, como todo o primeiro conhecimento, ainda que sejam ideias que se precipitam do real, ainda que espontâneas e erradas, são condição necessária ao desenvolvimento cognitivo e à aquisição do saber racional. São passos obrigatórios, que é preciso ter em conta no processo dialéctico contínuo e activo que é a conceptualização e a formação da razão.”

Pozo indica a década de 80 como a mais importante no estudo das Concepções Alternativas, apesar de investigadores, como Driver (1986) e Viennot (1979), já terem feito referência antes (década de 70), citando Viennot:

“as ideias alternativas das crianças e adolescentes são pessoais, fortemente influenciadas pelo contexto do problema e bastante estáveis e resistentes à mudança, de modo que é possível encontrá-las mesmo entre estudantes universitários”.

Na sua tese de Doutoramento (Leite, 1993) menciona que as Concepções Alternativas são:

“... ideias e explicações dos alunos que, não consistindo em erros fortuitos (resultantes, por exemplo, de distrações), não coincidem com as aceites pela comunidade científica, mas fazem sentido e são úteis para aqueles que as possuem, na medida em que são adequadas à realização/resolução das suas tarefas de cidadão comum.”

A discussão em torno das concepções alternativas tem constituído uma linha de estudo importante no ensino das Ciências. Um dos argumentos mais utilizado tem como base o construtivismo, segundo a qual os estudantes

constroem os seus próprios conhecimentos quando as suas estruturas mentais interagem com a informação que recebem do meio exterior e na interacção com os outros. Este processo acontece sempre que os alunos assistem a uma aula, escutam o professor, lêem, interpretam textos, observam, registam, realizam actividades experimentais. Decifrando este conjunto de informações, a partir do que já sabem ou não (os alunos podem não saber nada sobre um determinado assunto) e tendo em conta a sua própria personalidade e as suas vivências, deste modo valoriza-se o conhecimento que os estudantes possuem quando estudam um determinado conteúdo.

Os resultados das investigações sobre as concepções alternativas dos estudantes permitiram fundamentar um novo referencial para a aprendizagem das ciências. Efectivamente, os investigadores passaram a dispor de informações fundamentais acerca das ideias dos alunos sobre alguns domínios do conhecimento científico: ficaram a saber que os alunos constroem representações mentais relativas aos vários domínios do conhecimento e que as representações relativas aos conteúdos escolares são da maior importância para melhorar o ensino desses conteúdos e a prática pedagógica em geral.

O aluno tem então para aprender, de construir/reconstruir os seus "conhecimentos científicos", assim, de uma forma coerente, surgiu a necessidade de adopção de uma matriz epistemológica construtivista para o ensino das ciências. Construir/reconstruir não significa porém a substituição dos conhecimentos intuitivos pelos conhecimentos científicos. A aprendizagem, de acordo com essa matriz, dever-se-á processar de tal forma que, sem abandonarem as ideias que trazem para as escolas e que para eles continuarão a fazer sentido em situações do quotidiano, os alunos incorporem o conhecimento intuitivo no conhecimento científico (Pozo, 1996).

A figura seguinte apresenta diferentes designações atribuídas às representações dos alunos.

Designações que dilatam a natureza accidental, defeituosa, evitável, imatura ou errada de tais representações. Referem-se também, à assimilação incorrecta de modelos formais	<ul style="list-style-type: none"> - Concepção Errónea (misconception) - Compreensão errada (misunderstanding)
Designações que sugerem diferenças qualitativas entre representações do aluno e os conceitos científicos.	<ul style="list-style-type: none"> - Concepção alternativa - Estrutura alternativa (alternative framework)
Designações que sugerem a organização e coordenação dos elementos cognitivos da representação. As representações são consideradas construções responsáveis por uma estrutura	<ul style="list-style-type: none"> - Estrutura Conceptual (conceptual framework) - Estrutura alternativa - Sistema de crenças - mini-teoria - esquema conceptual - Paradigma do aluno
Designações que sugere, que somos uma espécie de cientistas ao procurar o “como” e o “porquê” das coisas.	<ul style="list-style-type: none"> - Ciência da Criança

Figura 19 - Diferentes designações atribuídas às representações dos alunos.

Relativamente ao professor, este já não é aquele que transmite uma ciência constituída por um conhecimento verdadeiro e definitivo, não encara a sala de aula como um local de transmissão do conhecimento científico, mas como um lugar de construção ou de mudança de significados que conduzem a um conhecimento que é, em cada fase da sua evolução, o melhor de que a comunidade científica dispõe. Nesta perspectiva de ensino, o ambiente na sala de aula é de uma importância fundamental no sentido em que deverá proporcionar a “livre expressão” do aluno, sem receio de uma avaliação que muitas vezes se tem mostrado redutora de uma aprendizagem verdadeiramente significativa. O aluno tem de ter noção que as suas ideias e explicações sobre o tema em estudo são fundamentais para a aprendizagem. O debate, apoiado em regras previamente negociadas, deverá ocorrer na sala de

aula e permitir aos estudantes uma discussão construtiva de ideias. Infelizmente nem sempre a teoria se consegue transpor para a realidade e tornar numa prática pedagógica assumida e concretizada.

2.2.1. Teoria da Mudança Conceptual

Todos estes aspectos levam à necessidade de olhar para o processo de ensino-aprendizagem, não exclusivamente como um acumular de informações, mas como um processo activo, em que os alunos estabelecem relações entre as informações de que dispõem. Recorre-se frequentemente à modificação, à mutação, daí que se designe por “aprendizagem por mudança conceptual”. Este conceito surgiu nos anos 80 e Moreira refere-o como tratando-se de substituir as concepções alternativas pelas concepções tidas como válidas cientificamente (apesar de alguns autores rejeitarem a afirmação anterior, porque segundo eles não pode existir substituição de conceitos).

Desde criança que o indivíduo é submetido a este tipo de aprendizagem. Por exemplo quando chamamos uma criança para jantar, ela sabe que tem de deixar o que estava a fazer, lavar as mãos e sentar-se num determinado lugar, etc; quando a criança faz todas estas tarefas, associadas com “jantar”, sem qualquer necessidade de se lhe dizer o que tem de fazer, pode dizer-se que entendeu o conceito “jantar”. As mudanças surgem com a idade do indivíduo; o mesmo conceito “jantar” pode estar associado a objectos e acontecimentos diferentes, dependendo se o indivíduo é um adolescente, um jovem trabalhador ou um adulto.

Estudos realizados indicam que muitas das dificuldades que os alunos sentem na aprendizagem da ciência resultam do conhecimento que adquirem anteriormente ao período de aprendizagem e ao desconhecimento deste facto por parte dos professores. Toda e qualquer tipo de investigação realizada relativamente às concepções alternativas que os alunos possuem tem sido de muita importância na compreensão das dificuldades na aprendizagem da ciência e no reconhecimento da necessidade de alterações profundas no processo ensino-aprendizagem, de modo a melhorar e promover uma aprendizagem significativa. Mas para provocar mudança metodológica e

conceptual, é necessário incentivar na aprendizagem a investigação ou seja, é importante reorientar o processo de ensino-aprendizagem no sentido da construção do conhecimento científico.

Neste sentido, o papel do professor assume especial relevância, visto que aprender ciência é mais do que compreender as experiências pessoais realizadas no mundo exterior; implica uma introdução ao mundo dos conceitos, ideias e teorias cientificamente aceites, mundo ao qual os alunos não possuem acesso directo, somente os professores. Driver (1989) comenta que algumas práticas pedagógicas são influenciadas, isto é, ou as crianças descobrem as coisas por eles próprias ou então o professor facilita-lhes as respostas, mas acrescenta que mesmo quando as respostas são fornecidas aos alunos, há que lhes dar sentido.

Ainda segundo Driver (1989), a função do professor não é transmitir conhecimentos, mas promover a negociação de significados de modo a que os alunos desenvolvam concepções próximas das científicas. No entanto, Cachapuz (1997) chama a atenção para a possibilidade de algumas concepções alternativas serem reforçadas nas próprias situações de aprendizagem, através dos manuais escolares ou até do próprio professor, ao serem utilizadas analogias, linguagem e representações inadequadas ou excessivamente simplistas. Mas pode acontecer que a reorganização referida no processo de mudança conceptual não garanta que as concepções iniciais sejam substituídas por concepções científicas. O que se verifica, após o período de ensino, é que os alunos possuem concepções mistas que contêm aspectos quer das concepções iniciais quer das concepções científicas. No entanto quando os alunos abordam um conceito sem terem qualquer tipo de conhecimento acerca dele, estão mais preparados para aceitar a informação que o professor lhes apresenta, sem sequer a contestar. Mas se pelo contrário, se os alunos já têm algumas ideias sobre o assunto, essas ideias poderão interferir com a sua capacidade para compreender a informação que lhe é fornecida, daí que seja necessário que tenham noção das suas próprias concepções. Para que os alunos as alterem, precisam de acreditar que as concepções que possuem, não são suficientes ou estão incorrectas do ponto de vista científico. Chegar a esse ponto não é fácil, pois os alunos têm de ter a percepção de substituir a

concepção anterior por uma nova e que esta lhes será mais útil na aplicação a novas situações. Infelizmente é frequente que os alunos resistam às ideias cientificamente correctas enquanto as concepções alternativas que possuem forem aceitáveis. Assim, o processo de aceitar um conceito científico poderá ser concretizado quando os alunos são colocados em contextos onde se apercebem que é vantajoso adquirirem esse novo conceito. Uma forma de corrigir as concepções erradas que os alunos possuem é confrontá-los com determinados fenómenos e pedir-lhes para explicá-los usando as suas próprias concepções. Quando eles se apercebem que as suas ideias não são capazes de dar uma explicação concreta e o professor fornece então uma alternativa científica os alunos constataam então o valor do conceito científico e abandonam a concepção que possuíam.

Schoon (1992) é defensor da discussão como forma de mentalizar o aluno de que as suas concepções não vão de encontro àquelas que são cientificamente aceites. Acrescenta ainda que nestes debates os alunos devem sentir-se à vontade para expressar todas as suas ideias e opiniões (o que não acontece com a frequência desejada). Schoon considera ainda que a observação directa de fenómenos naturais, é também uma forma de ajudar os alunos a superar as concepções alternativas que possuem.

Da mesma forma, Kibble (2002) acredita que o caminho para um melhor entendimento de alguns conceitos se faz através da revelação de potenciais concepções erradas. Para ele a parte mais produtiva de qualquer actividade é aquela em que surge a discussão e a troca de ideias, isto porque as concepções alternativas não surgem unicamente entre os alunos, surgem igualmente nos professores. Gunstone (1988) propõe o conflito cognitivo como forma de diminuir a aceitação das concepções alternativas, abrindo o caminho para a realização de novas aprendizagens. Nesse sentido, torna-se importante proporcionar aos alunos situações que os levem a ter percepção das suas próprias ideias, de modo a que as utilizem no levantamento de hipóteses sobre um determinado fenómeno. De acordo com este autor, desta maneira as ideias dos alunos são postas em causa dando origem ao conflito cognitivo.

Sugere-se a discussão dos temas em grupos e a tentativa de influenciar a sua maneira de pensar através de um questionário muito cuidadoso. É também

aconselhado que se apresentem afirmações que entrem em conflito com as concepções alternativas dos alunos. Há investigadores que afirmam que se os alunos que aprendem ciência estão dispostos a adquirir novo conhecimento e, gradualmente, conseguem integrar esse conhecimento nas suas estruturas conceptuais já existentes, então esses alunos poderão alcançar a concepção científica de como as coisas funcionam.

Ao deparar-se com uma concepção alternativa nos seus alunos, o professor não deve preocupar-se demasiado com esse facto, deve sim ajudá-los a percorrer o caminho necessário para atingirem uma concepção cientificamente correcta. Contudo, se os alunos, inconscientemente, rejeitam ou fazem uma deficiente interpretação da nova informação, que não se encaixa nas concepções que possuem, então a intervenção activa do professor torna-se decisiva. Como já foi referido, os alunos que têm concepções alternativas têm maior dificuldade na aquisição de conceitos novos. Sendo assim, o professor tem que conhecer as concepções alternativas dos alunos e, a partir daí, desenvolver estratégias de ensino para as ultrapassar.

Para que a mudança conceptual seja uma realidade, os professores têm que estruturar e organizar ambientes de aprendizagem que proporcionem ao aluno experiências que lhe permitam reestruturar as experiências prévias e reconstruir os conhecimentos pessoais, o que é especialmente necessário no caso de esses conhecimentos corresponderem a concepções alternativas. Após a identificação das concepções dos alunos, o professor deve desenvolver oportunidades para que os alunos possam explorar as suas concepções, testar a sua validade para explicar vários fenómenos e fazer previsões, assim como proporcionar incentivos para os alunos desenvolverem, reestruturarem e, sempre que for oportuno, alterarem as suas concepções, pois como referem Eaton *et al.* (1983) *"para a pessoa que possui uma concepção alternativa, essa concepção é verdadeira – ela não sabe que não sabe"*.

Um outro investigador, Mortimer (1996), considera que a evolução das concepções dos alunos em sala de aula não ocorre simplesmente como uma substituição das ideias alternativas por ideias científicas. Assim, propõe a evolução de um perfil de concepções em que as ideias espontâneas convivem

com as ideias científicas que lhes são comunicadas, sendo que cada uma delas pode ser aplicada no contexto considerado conveniente para o aluno. Portanto, este modelo admite que as diferentes formas de pensar convivam harmoniosamente na estrutura conceptual do aluno, e que o perfil conceptual evolui à medida que o aluno adquire os conhecimentos. Este autor introduz a noção de “perfil conceptual” que fornece elementos para se entender a permanência das ideias prévias entre alunos que passaram por um processo de ensino de noções científicas. Ao ter noção do seu próprio perfil, o aluno usará os conhecimentos prévios e os científicos, cada qual sendo usado em contextos apropriados.

Deste modo, o ensino das ciências deve ser desenvolvido como um processo de permuta e de substituição de modelos com base em interrogações, exploração e revisão de conceitos prévios, acompanhado de observação e actividades experimentais. É importante a realização de actividades que possam promover a mudança conceptual, sendo que a linguagem utilizada, o conhecimento, actividades experimentais e estratégias diversificadas podem ser vistas como parte de um processo contínuo de reconstrução cognitiva da realidade, na qual os alunos são protagonistas activos. Neste contexto, o papel do professor assenta em promover actividades que desenvolvam trabalhos cooperativos em pequenos grupos, debates, discussões, demonstrações ou experiências que visem a introdução e solução de conflitos conceptuais.

2.2.2 Modelos Conceptuais de Vergnaud

Gérard Vergnaud (1933-), psicólogo, matemático e filósofo francês, inspirou-se em Piaget (1896-1980) e em Vygotsky²⁵ (1896-1934), pedagogo russo. Estudou os fenómenos cognitivos do “sujeito-em-acção”, utilizando o conceito de esquema²⁶ de Piaget (unidades psicológicas de funcionamento do

²⁵ Pensador e pedagogo, foi pioneiro na noção de que o desenvolvimento intelectual das crianças ocorre em função das interacções sociais (Fonte: Wikipédia)

²⁶ Vergnaud chama esquema à organização invariante do comportamento para uma determinada classe de situações. Dos quatro elementos que constituem os esquemas (objectivo do esquema, regras de

indivíduo, as quais são uma parte essencial das representações) e as suas ideias de adaptação, assimilação, desequilíbrio e equilíbrio, assim como deu bastante importância à interacção social, à linguagem e aos símbolos no gradual domínio de um campo conceptual por parte dos alunos.

Por exemplo, quando procurávamos uma nova posição para a antena da televisão para “sintonizar” melhor, dificilmente o fazíamos baseados no conhecimento sobre o electromagnetismo; “sabíamos” que numa determinada posição se conseguia muitas vezes estabilizar a imagem, mas era difícil explicar esta situação do ponto de vista científico ou técnico. No entanto, essa competência, o saber fazer, é fundamental para depois dar “sentido” às leis do electromagnetismo. Esta situação representa o que Vergnaud designa por “conhecimento em acção” e demora anos a formar-se. Para este investigador, o Electromagnetismo é um exemplo de um Campo Conceptual, assim como a Electricidade e a Mecânica, e não podem ser ensinados e aprendidos de forma imediata. Requer, por parte dos alunos, um domínio progressivo dos campos, ou sub-campos conceptuais correspondentes.

Segundo Moreira (2002), três argumentos principais levaram Vergnaud ao conceito de campo conceptual: um conceito não se forma dentro de um só tipo de situação; uma situação não se analisa com um só conceito; a construção e a apropriação de todas as propriedades de um conceito ou todos os aspectos de uma situação são um processo lento, com analogias e mal entendidos. O campo conceptual é considerado como uma unidade de estudo que procura dar sentido às dificuldades encontradas no processo de conceptualização da realidade.

acção e controle, invariantes operatórios e possibilidades de inferência), somente os invariantes operatórios (teoremas-em-acção e conceitos-em-acção) são indispensáveis na articulação entre uma situação que o sujeito enfrenta e o esquema que possui para poder resolvê-la. Um teorema-em-acção é uma preposição que pode ser verdadeira ou falsa; um conceito-em-acção é considerado um pensamento pertinente e só pode ser relevante ou irrelevante. Não existem preposições sem conceitos. (Escudero, Moreira e Caballero, 2003)

“Vergnaud toma como premissa que o conhecimento está organizado em campos conceptuais cujo domínio, por parte do sujeito, ocorre ao longo de um largo período de tempo, através da experiência, maturidade e aprendizagem. Campo Conceptual é, para ele, um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, ligados uns aos outros e, provavelmente, entrelaçados durante o processo de aquisição (Moreira, 2002) ”

Moreira refere, ainda, sobre o assunto:

“O domínio do campo conceptual na maior parte das situações demora bastante tempo, meses e até anos. Os novos problemas e novas propriedades devem ser estudados ao longo de vários anos se quisermos que os alunos progressivamente os dominem. De nada serve tentar colmatar as dificuldades conceptuais; estas são superadas à medida que são encontradas e confrontadas, mas este processo não ocorre de uma só vez.”

Tal como Ausubel, a construção do conhecimento também aqui se faz tendo como base os pré-conceitos ou conceitos prévios que, em algumas teorias da aprendizagem eram vistos como errados e que para Vergnaud são a base para se construir conhecimento científico. O professor é responsável pela utilização de metodologias o mais diversificadas possível, a fim de levar o aluno a modificar os seus conceitos. Também aqui, o papel do professor é fundamental, é ele o mediador de todo o processo de ensino-aprendizagem. O aluno vai construindo o seu campo conceptual em busca do conhecimento científico, substituindo os conhecimentos prévios, não científicos, resolvendo problemas (não confundir com a simples resolução de exercícios, que na maior parte das situações passa por um conhecimento mecânico). Esta última situação não é o que Vergnaud preconiza, mas sim “estudar uma determinada situação ou responder a uma questão-problema”, como forma de otimizar estratégias de raciocínio, proporcionar o crescimento dos conceitos e desenvolver o conhecimento processual. Segundo este autor, a dificuldade dos alunos em resolverem problemas em Ciência encontra-se nas operações de pensamento que têm de executar para estabelecer relações pertinentes entre os dados do problema e não no tipo de operações que essa actividade requer.

A construção do conhecimento pelo aluno não é um processo linear. É, pelo contrário, complexo, demorado, com avanços e retrocessos, continuidades e rupturas. O conhecimento prévio pode ser determinante nalguns casos mas

também pode ser impeditivo no progressivo domínio de um campo conceptual. Por exemplo a Mecânica Clássica e a Mecânica Quântica apresentam continuidades, mas para aprender a última é preciso entrar em ruptura com alguns conceitos da Mecânica Clássica.

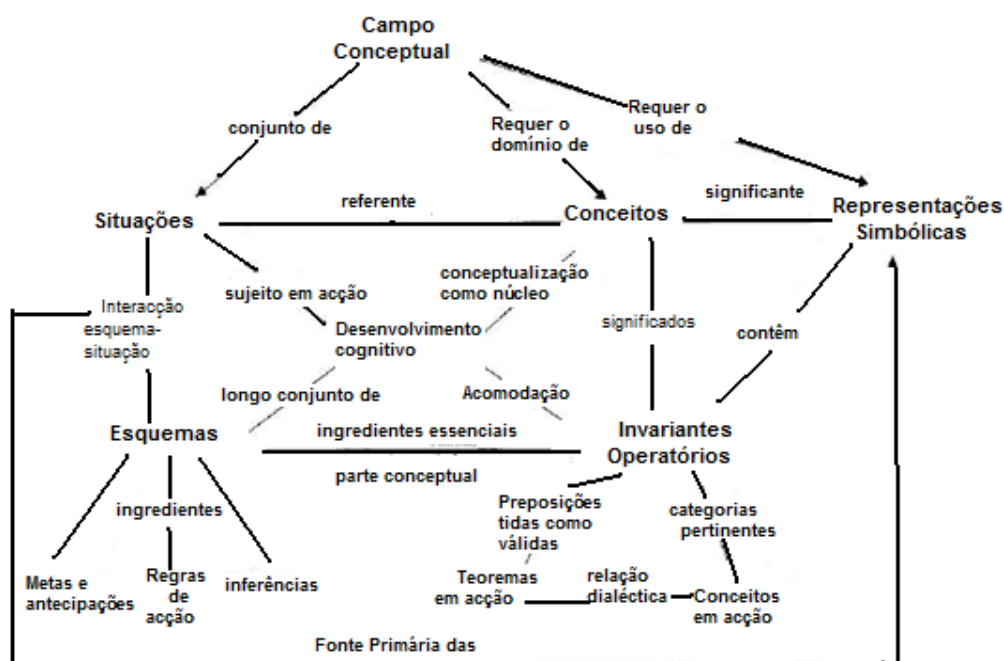


Figura 20 - Diagrama de conceitos mostrando a Teoria dos Campos Conceptuais de Vergnaud (adaptado de Moreira, 2002)

Esta teoria apresenta um grande potencial para descrever, analisar e interpretar o que se passa em sala de aula na aprendizagem da ciência, relacionando a aprendizagem significativa de Ausubel e a teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird.

2.2.3. Modelos Mentais de Johnson-Laird

Os modelos mentais são estruturas teóricas utilizadas para explicar uma variedade de aspectos do comportamento dos alunos, quando se encontram em situações de resolução de problemas. Contêm o que Vergnaud designou por teoremas-em-acção, assim como os conceitos-em-acção também podem

integrar modelos mentais ou seja estes podem conter proposições e imagens. Mas parece não existir uma definição geral e única para "Modelo Mental", apesar de algumas das suas características serem comuns.

Philip Johnson-Laird nasceu em 1936 e trabalha no Departamento de Psicologia da Universidade de Princeton em New Jersey. A sua teoria dos Modelos Mentais (1983) é resultado de mais de trinta anos de investigações, em colaboração com outros investigadores.

Johnson-Laird refere que, diante de um novo conhecimento, uma nova situação, a primeira representação mental que o aluno constrói na sua memória de trabalho, é um modelo mental. Em determinadas circunstâncias essa representação pode estabilizar e evoluir até um esquema de assimilação de Piaget (Moreira, 2002; Greca e Moreira, 2002), esquematizado na Figura 21.

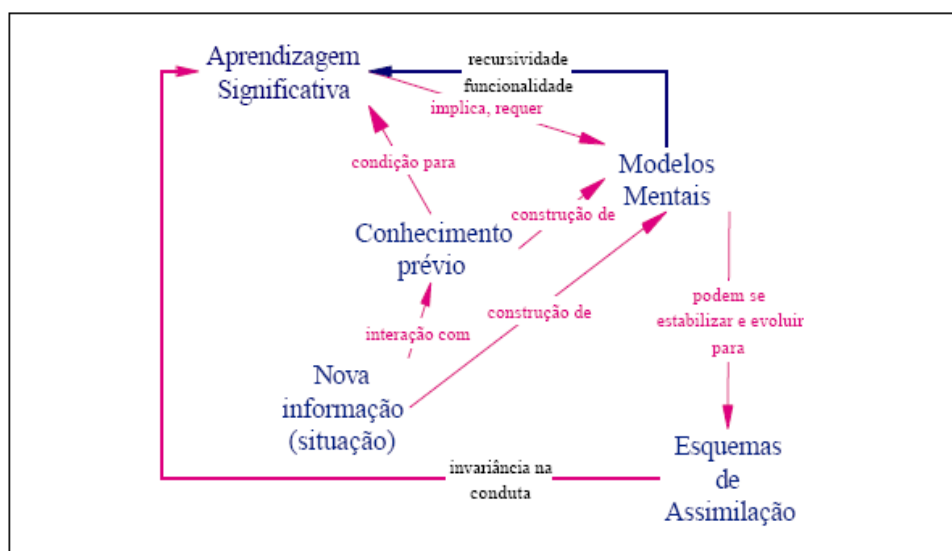


Figura 21 - Esquema de Assimilação de Piaget

A construção de um modelo mental pode ser vista como o primeiro passo para uma aprendizagem significativa. Tal construção reflecte uma intencionalidade do aluno, porque se ele constrói o modelo é porque quer resolver uma determinada situação, quer aprender. Não implica, portanto, uma aprendizagem significativa no sentido de partilhar significados, pois o modelo mental pode estar "errado" contextualmente, mas funcionar bem para o aluno.

Por outro lado, o modelo mental pode ser modificado tantas vezes quantas necessárias ao longo da negociação de significados e ser, de facto, um passo essencial para a aprendizagem significativa podendo, até mesmo, evoluir para esquemas de assimilação.

Essa visão cognitivista contemporânea da aprendizagem significativa é compatível com uma visão clássica também no sentido de que o conhecimento prévio é fundamental, pois os modelos mentais são construídos a partir de conhecimentos que o indivíduo já tem na sua estrutura cognitiva e daquilo que ele percebe da nova situação, seja por percepção directa seja por alguma descrição ou representação dessa situação, desse novo conhecimento.

Para Johnson-Laird existem três tipos de representações mentais:

- a) proposições que são representações abstractas e podem ser verbalizadas;
- b) modelos mentais que são representações analógicas abstractas de conceitos ou de objectos que são, espacial e temporalmente análogos a impressões sensoriais;
- c) imagens que são representações bastantes específicas que mantêm muitos dos aspectos perceptivos de determinados objectos ou situações.

Para este investigador, o fundamental da compreensão está na existência de um modelo de trabalho na mente de quem compreende. Estes modelos podem ser criados a partir da percepção (sensorial e social) e/ou da experiência. Considera ainda que a origem dos modelos mentais se deve à evolução da habilidade da percepção dos organismos com sistema nervoso. Nesse sentido, todo o conhecimento de um indivíduo dependerá da sua capacidade de construir modelos mentais (Greca, 2000). Por exemplo se pensarmos num “íman”, sempre que fazemos isso, construimos imediatamente o modelo mental, “um paralelepípedo pintado, dividido ao meio de um lado vermelho do outro branco”, mas existem outros tipos de representações, em forma de “U”, redondo, etc.

2.2.4. Uma breve reflexão

No decorrer desta investigação, verifiquei que existe um conjunto de modelos e teorias de aprendizagem que têm merecido ao longo dos últimos anos a atenção de inúmeros investigadores do Ensino da Ciência e em particular no ensino da Física, destacando-se umas mais do que outras. As teorias de ensino-aprendizagem sempre foram utilizadas como auxiliares dos professores (alguns sem terem consciência disso), com a finalidade de melhorar a compreensão do processo de construção do conhecimento por parte dos alunos. As mais utilizadas e trabalhadas têm tido como base o Construtivismo, um chavão que se utiliza actualmente para separar as práticas de aprendizagem “actuais” das “obsoletas”. Um bom exemplo do referido anteriormente inclui os modelos de Vergnaud e de Johnson-Laird, para o primeiro investigador o cerne do desenvolvimento cognitivo é a conceptualização enquanto para Johnson-Laird, a aprendizagem significativa de novas situações implica a construção de um modelo mental associado à utilização de uma linguagem cuidada.

Todos os processos e estruturas associadas à aprendizagem são construídos, aos docentes interessa-lhes acima de tudo ter instrumentos ao seu dispor, de modo a promover e motivar os seus alunos para a aprendizagem em Física.

Mas a aprendizagem só acontece quando alguém está disposto a aprender; é óbvio que se podem criar as condições e/ou meios para o processo ser facilitado, mas é o aluno que tem que querer aprender, o que significa que pode existir ensino sem aprendizagem e aprendizagem sem ensino. Assim sendo, se estes factos forem aceites, não só a nível intelectual mas também como parte do nosso tipo de conduta e postura perante o processo em si, não podemos então decidir em que momento ou local ocorrerá aprendizagem. Os princípios que norteiam a aprendizagem e o ensino só sugerem o modo como estes se relacionam, mas não garantem que esta relação seja profícua.

Os professores devem ter presente que se querem promover a aprendizagem, têm que seguir algumas regras básicas:

- a) criar um ambiente agradável e saudável de trabalho na sala de aula e entre os alunos;
- b) ajudar os alunos a produzir e clarificar objectivos;
- c) organizar e ter disponível um conjunto de recursos com rigor científico de modo a fomentar a aprendizagem;
- d) considerar que somos uma fonte e/ou recurso flexível que deve ser utilizado pelos alunos. Como tal devemos estar munidos de uma linguagem cientificamente correcta;
- e) Em resposta ao que os alunos necessitam, devemos aceitar o seu conteúdo intelectual, assim como compreender as atitudes e/ou posturas emocionais;
- f) Tentar estabelecer um ambiente agradável, no qual os alunos aceitem o professor e o ouvem, de modo a, de forma gradual, transformar o aluno num aluno participativo, que consegue fazer ouvir os seus pontos de vista e argumentar com alguma qualidade;

Ao longo dos últimos vinte anos, o construtivismo tem sido muito discutido e utilizado em diversos estudos, mas nunca conseguiu reunir consensos. Outras teorias existem mas que são pouco conhecidas pelos professores e têm pouca aplicação prática nas suas aulas, na medida em que o que interessa a um professor de Ciências é aprender algo que possa utilizar em sala de aula nas suas práticas lectivas, de modo a motivar a plateia que tem à sua frente. Os alunos actuais têm características que não se encontravam nos alunos de há vinte e trinta anos, que permaneciam calados a ouvir o que o professor dizia. Hoje em pleno século XXI, os alunos, de uma forma geral, apresentam: tempo de concentração reduzido, pouca pré-disposição para o trabalho de sala de aula e pouca vontade para aprender. Ao professor cabe-lhe criar condições de aprendizagem, de forma a proporcionar um ambiente de sala de aula motivador, que os torne produtivamente envolvidos e disponíveis para o trabalho que lhes é exigido. Essa motivação passa também por uma possível empatia que se deverá criar entre professor e aluno, pois a aprendizagem é

também emocional e para alguns alunos é condição necessária para um bom desempenho acadêmico.

O processo de ensinar não é então apenas social, mas também humano, cognitivo e comportamental, tendo sempre presente os conceitos alternativos, tão importantes na aprendizagem significativa. Segundo a teoria da aprendizagem significativa (Ausubel, 1996):

“Aquilo que o aluno já sabe, o seu conhecimento prévio, parece ser o factor isolado que mais influencia a aprendizagem subsequente”

Ao professor exige-se então, a criação de condições para alterar os conceitos alternativos dos alunos, favorecendo a construção do conhecimento científico, e promovendo a organização dos mesmos.

Esta tarefa nem sempre é fácil, porque os alunos em muitas situações têm consciência dos conceitos errados, mas não conseguem dar o salto esperado em direcção aos conceitos aceites pela comunidade científica. Continuam com eles quando entram na Faculdade e por vezes nunca os conseguem modificar. Constata-se que os próprios professores, têm muitas vezes pré-conceitos e transmitem-nos aos alunos.

3. Dificuldades Conceptuais no Ensino do Electromagnetismo

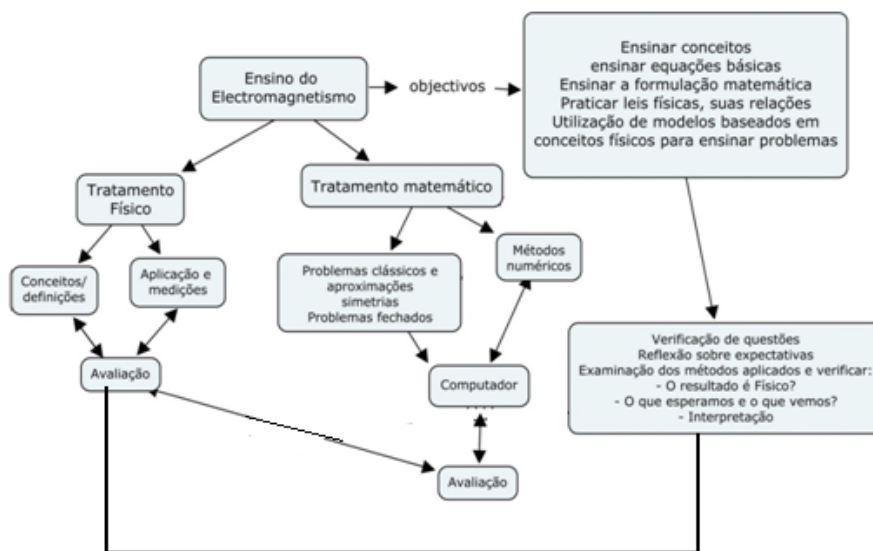


Figura 22 – Ensinar Electromagnetismo a estudantes de todos os níveis

Nos últimos quarenta anos têm sido realizados inúmeros estudos sobre as concepções ou ideias dos alunos em relação aos diversos conceitos científicos aprendidos na escola em diferentes áreas da Física, tais como na Mecânica (conceitos como a velocidade, aceleração, força, campo gravítico, etc.), na Electricidade (conceitos como a corrente eléctrica, tensão, potencial e diferença de potencial, campo eléctrico). Na área do Electromagnetismo já existem alguns estudos, nomeadamente no que diz respeito aos conceitos de Campo, Fluxo, Lei de Ampère e Lei de Gauss.

Sendo o Electromagnetismo, uma das áreas temáticas da Física de grande importância, basta estar presente na grande maioria dos equipamentos que fazem parte do nosso dia-a-dia, tais como computadores, telemóveis, TV, frigoríficos, dínamo das bicicletas, alternador, motores, etc., torna-se fundamental a sua compreensão para entendermos alguns fenómenos. As investigações que têm sido realizadas têm mostrado que é nesta área que as concepções alternativas ocorrem com mais frequência e têm-se mostrado difíceis de modificar através do processo ensino-aprendizagem. Mesmo após

um longo período de aprendizagem os alunos continuam a apresentar ainda muitas dificuldades. Verifica-se que o aluno cria uma imagem de um determinado conceito que está relacionada com as suas vivências, tornando-se difícil alterá-la. Mortimer (1996) reforça a ideia que não é adequado descrever o processo ensino-aprendizagem como uma mera substituição dos conceitos prévios dos alunos por conceitos científicos e refere ainda que podemos estar a afastar-nos do construtivismo, pois a possibilidade da construção de um novo conceito pode em alguns casos ocorrer independentemente dos conceitos prévios e não necessariamente como uma acomodação de estruturas conceptuais já existentes.

Na verdade, dois dos conceitos que se apresentam como problemáticos para os alunos – **campo** e **fluxo** – são abstracções matemáticas difíceis de modelar mentalmente, pois não existem elementos perceptivos. O fluxo eléctrico ou magnético é o fluxo de algo que não existe na realidade material. As linhas de campo, por sua vez, são também algo que não se vê e ocupam todo o espaço de uma forma difícil de ser entendida. Quando um conjunto de conceitos surge em simultâneo, os alunos enfrentam ainda mais dificuldades, vêm-se obrigados a utilizar um deles para definir operacionalmente o outro conceito, esta situação aplica-se aos conceitos Fluxo magnético e Campo magnético.

3. 1 Dificuldades na compreensão do conceito de 'Campo' e de 'Fluxo'

Conceito de Campo

Conceitos como campo eléctrico e magnético são de difícil compreensão, dado que se encontram ao nível do raciocínio abstracto (como muitos outros conceitos em Física) e o aluno já formou vários conceitos prévios acerca da palavra "campo", que utiliza no dia-a-dia com uma outra interpretação ou modelo mental: "campo de golfe", "campo de voleibol", "campo de futebol", "campo de basebol", por exemplo.



Também ao colocarmos perfume, imediatamente nos apercebemos do seu cheiro, mas não o conseguimos ver. O que acontece é que se libertam moléculas que, por estarem em movimento, se misturam com as moléculas constituintes do ar, criando uma espécie de “campo de cheiros” em todo o ambiente que nos envolve e que qualquer nariz pode detectar. Pode não ter nada a ver, mas serve para chamar a atenção para um conceito fundamental em Física, o de “Campo”. Tal como nos exemplos anteriores, são as analogias que nos fazem entender melhor alguns conceitos e este em particular.

O conceito físico de campo caracteriza a propriedade que a matéria tem de influenciar o espaço que fica em seu redor, dando-lhe uma característica que este não tinha anteriormente.

É desse modo que se compreende actualmente a atracção gravítica: a Terra, como qualquer corpo com massa, é construída como se tivesse em torno de si algo, “uma nuvem não material que se encontra à sua volta”. Um aspecto muito importante do conceito físico de campo é que não se pode separar da matéria que o criou. O mesmo acontece ao campo gravítico da Terra, assim como ao campo magnético de um íman. Desse modo, se a matéria se move, o seu campo também o faz, acompanhando a matéria. Assim sendo, qualquer corpo no campo gravítico da Terra é atraído por ela através de uma força, o peso. O peso é então a evidência mais comum da acção do campo gravítico.



A visualização de "campos" fez com que Faraday em 1845 aplicasse pela primeira vez o conceito de campo à região do espaço que se encontra entre os pólos magnéticos, o qual entendeu como constituído por linhas de força eléctricas e magnéticas. Faraday, que além de Físico e Químico, foi também pintor, desenhador e um dos primeiros fotógrafos, parece ter sido este interesse pelas artes que influenciou o seu vocabulário científico. Segundo um dos seus biógrafos:

"When he searched for words or phrases to describe scientific phenomena, he discovered expressions such as 'lines of force', 'magnetic field' or 'crispations', notions that could be drawn as well as written. When he sought to express to himself scientific ideias in his laboratory notebook he made marginal pen-and-ink drawings of the physical effect as he conceived it in his mind's eye. (Hamilton, 2003) "

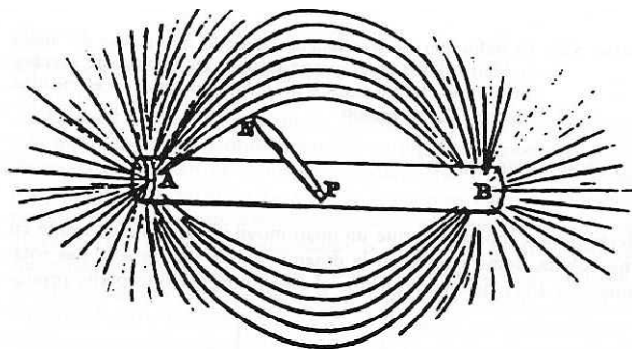


Figura 23 – Primeiro desenho elaborado por Faraday em 1831, das linhas magnéticas que rodeiam um íman em barra. http://www.apac-Eureka.org/revista/volumen1/Numero_1_3/.

Michael Faraday observou as "linhas de força" formadas pela limalha de ferro num papel próximo de um íman, ocorreu-lhe que o espaço deveria estar preenchido por "tubos de forças". Quando se dá a acção dos ímanes e das

correntes, estes tubos vibram. O "seu" éter²⁷ é um meio invisível e fibroso que serve de meio de transmissão das acções à distância. Com esta noção de um espaço constituído por "tubos de forças", Faraday previu a noção de "campo de forças" desenvolvido e tratado matematicamente por Maxwell anos mais tarde.

Por volta de 1850, o conceito de campo estava bem consolidado na Física em Inglaterra, mas ainda faltava a explicação da sua constituição física.

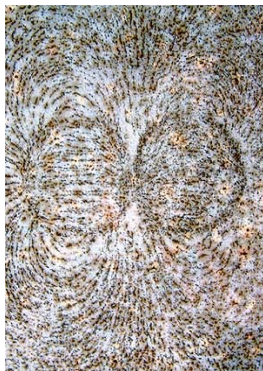


Figura 24 - O primeiro esquema que Faraday construiu onde se observam as linhas de força (<http://www.rigb.org/heritage/faradaypage.jsp>)

Assim, segundo essa ideia de linhas e de campos, Faraday explicou o aparecimento de uma corrente eléctrica induzida sempre que um tubo de força

²⁷ O éter referido no texto não tem a ver com a substância química, mas sim com aquilo que é etéreo. O conceito de éter surgiu com a visão mecanicista do mundo. Se o efeito de um determinado fenómeno é perceptível num local distante do local que lhe deu origem, deve existir um meio que serve de transporte a algo que interliga a causa com o efeito. Um exemplo é o caso da aproximação dum íman de uma agulha magnética sem a tocar. A agulha move-se sem ter havido contacto físico. Como é possível? Uma hipótese é haver algo invisível entre o íman e a agulha, através do qual a força do íman se propaga até à agulha. Este tipo de situações de acções à distância deu grandes "dores de cabeça" aos físicos quando tentaram explicá-las, pondo em risco a coerência de teorias criadas para explicar fenómenos, como, por exemplo, no caso da luz. Tem sido difícil a resolução destes problemas e soluções que parecem definitivas correm, por vezes, o risco de talvez não o serem. Maxwell descobriu que também se podia pensar no éter como meio transmissor das ondas eléctricas e magnéticas. Mais tarde abandonou esta teoria para se concentrar no tratamento matemático desta questão, e desenvolveu outra teoria para ultrapassar a do éter que sabia não existir. Mas na altura os constrangimentos eram muitos e a ideia de não existir nada entre os corpos era inconcebível para os investigadores, Maxwell escrevia o seguinte: " *Os éteres foram inventados para que os planetas neles se movessem, para constituir atmosferas eléctricas e fluidos magnéticos, para transmitir sensações de partes do nosso corpo para outra e assim sucessivamente, até que todo o espaço começava a ficar cheio com três ou quatro éteres ao mesmo tempo. Só quando nos lembramos da extensa e nefasta influência que tais hipóteses sobre os éteres costumavam exercer sobre a ciência, é que podemos apreciar o horror da ideia dos éteres provocava nas mentalidades sóbrias dos homens do séc. XVIII ...*" (Projecto Física, 1985). Somente no início do séc. XX, a ideia do éter desaparecia com Einstein e as suas noções de espaço e tempo em que não era necessário o conceito de éter.

magnética cortava um fio condutor e o inverso, ou seja, o movimento de tubos de força eléctrica criava campos magnéticos. Deste modo Faraday completou os conceitos newtonianos, (que na época já estavam perfeitamente definidos) substituindo “acção à distância” pela “acção de campo”.

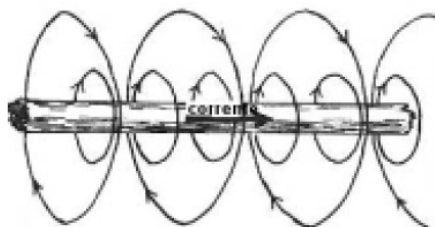


Figura 25 - Campo magnético em torno de um fio onde passa corrente eléctrica: mostram linhas de campo (que Faraday imaginou serem “tubos”). O campo magnético é tangente aos círculos, “rodando” em torno do fio condutor.

William Thomson foi um dos primeiros cientistas que em 1847, introduziu o conceito de campo utilizando a formalização matemática que na altura ainda não incluía cálculo vectorial²⁸.

Importante é perceber que a utilização de analogias para compreender um determinado conceito já era bastante utilizada no séc. XIX pelos físicos ‘vitorianos’, como Thomson e Maxwell. O papel das analogias no desenvolvimento da teoria electromagnética foi fundamental, concretizaram-no transferindo conhecimentos dos vários ramos da física (mecânica e a condução de calor) para outros (electrostática e electrodinâmica). Modelos, analogias, e modelação são um conjunto de ferramentas bastante utilizadas pela ciência, assim como nas ciências da educação. Os professores devem sempre que possível, mas com cuidado, fazer uso de analogias na sua prática pedagógica, tal como Faraday e Maxwell o fizeram no séc. XIX.

Estudos diversos apontam para uma mesma conclusão: só uma minoria dos estudantes do ensino secundário utiliza significativamente o conceito de campo. A maioria não estabelece diferenças conceptuais entre a força e o campo eléctrico e quando se introduz a definição de campo a partir da sua

²⁸ Os componentes de campo eléctrico E , E_x , E_y e E_z ainda não eram utilizados na época.

definição operacional, a sua compreensão é afectada, o que por sua vez pode evidenciar problemas de aprendizagem na Mecânica. O que parece confirmar a hipótese de que na origem das dificuldades de aprendizagem podem estar as concepções alternativas ou então os aspectos históricos da origem do conceito de campo.

CONCEITO DE FLUXO

As pilhas inventadas por Volta no fim do Século XVIII, os efeitos eléctricos e magnéticos associados à ligação entre os seus pólos, através de fios, suportavam a ideia de um fluido eléctrico que se deslocava do pólo carregado positivamente para o pólo carregado negativamente. Esse fluido era a corrente eléctrica, e associado a ele existiam naturalmente linhas de corrente semelhantes às que se consideravam nos fluidos normais. A associação de campo a cargas eléctricas e magnéticas, neste caso os pólos dos ímanes, levou a que o conceito de campo associado a forças tivesse também associado a si linhas de campo, sugerindo um caudal, e daí o conceito de **fluxo eléctrico e magnético**. O fluxo emanava das cargas, tal como o campo, e deveria existir uma relação funcional entre ambos. Tudo apontava para que os campos eléctricos e magnéticos fossem de natureza vectorial, as cargas eléctricas e magnéticas eram fonte de fluxo de um vector a ele associado. Depressa se compreendeu que embora os ímanes parecessem indiciar a existência de cargas magnéticas, elas na verdade não existiam, pois ao partir-se um íman ao meio, este reproduzia dois ímanes com características iguais ao primeiro.

O princípio de funcionamento de um grande número de equipamentos electrónicos de uso diário baseia-se numa lei da Física descoberta há quase dois séculos, a lei da indução magnética. Faraday descobriu que uma corrente eléctrica era induzida numa espira condutora quando esta se movia nas proximidades de um íman. Na época, por volta de 1831, este facto não passou de uma mera curiosidade científica para um pequeno grupo de investigadores da ciência experimental, mas tinha nascido o electromagnetismo. Thomas Edison utilizou posteriormente a lei de Faraday para criar e distribuir corrente

eléctrica através de cabos pela cidade de New York. A primeira rede eléctrica da história foi inaugurada por volta de 1881, produzida numa Central Termoeléctrica, onde a energia térmica de enormes turbinas de vapor era convertida em energia eléctrica através da rotação de algumas bobinas condutoras rodeadas por enormes ímanes. Hoje em dia, o funcionamento de muitos equipamentos, desde uma Central Hidroeléctrica até aos pequenos geradores eléctricos, é explicado por esta lei que foi formulada matematicamente por Maxwell. Esta lei empírica pode ser entendida como: "a variação temporal de campo magnético cria um campo eléctrico", ou então, a variação de fluxo magnético através da área de uma espira faz surgir uma força electromotriz induzida, a qual tende a opor-se à variação de campo magnético inicial, seguindo a lei de Lenz.

Um bom exemplo esteve patente no exame nacional Físico e Química A (11.º ano) de 2008, 2ª fase:

- 2.4. Uma vez que na Lua «o silêncio é total», os astronautas comunicavam entre si, mesmo a pequena distância, por meio de ondas electromagnéticas. Qualquer sinal sonoro, antes de poder ser enviado sob a forma de uma onda electromagnética, deve ser transformado num sinal eléctrico, recorrendo, por exemplo, a um microfone de indução.

- 2.4.1. O funcionamento do microfone de indução baseia-se no fenómeno da indução electromagnética, descoberto por Faraday. Este fenómeno pode ser evidenciado com um circuito constituído apenas por uma bobina ligada a um aparelho de medida adequado. Verifica-se que esse aparelho de medida detecta a passagem de corrente no circuito, quando se move um íman no interior da bobina (figura 3).

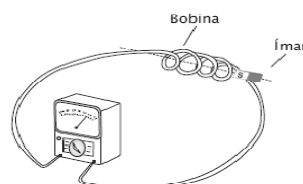


Fig. 3

Tendo em conta a situação descrita, seleccione a alternativa que completa correctamente a frase seguinte.

Quanto mais rápido é o movimento do íman no interior da bobina, ...

- (A) ... menor é o módulo da força electromotriz induzida, sendo maior a energia que o circuito pode disponibilizar.
- (B) ... maior é o módulo da força electromotriz induzida, sendo menor a energia que o circuito pode disponibilizar.
- (C) ... maior é o módulo da força electromotriz induzida, sendo maior a energia que o circuito pode disponibilizar.
- (D) ... menor é o módulo da força electromotriz induzida, sendo menor a energia que o circuito pode disponibilizar.

Onde também é evidente a ligação entre a Física e a História da Física.

Fluxo, tal como Campo são conceitos abrangentes. Fluxo pode ser relacionado com qualquer coisa que flui ou corre através de uma fronteira real

ou imaginária: uma corrente de água, o som, a luz (ondas electromagnéticas), a lava de um vulcão. Portanto fluxo está associado a movimento e como tal relacionado com o tempo, por exemplo, “Calor flui num campo de temperaturas”.

Com esta breve descrição verifica-se a importância que ambos os conceitos, campo e fluxo, têm no ensino da Física e como é fundamental que os alunos os interiorizem de forma a puderem relacioná-los e aplicá-los significativamente a novas situações.

3.2 Investigação do conceito de Campo em Manuais Escolares

Através da leitura atenta de um manual escolar, podemos compreender em linhas gerais as propostas didácticas dos seus autores. É possível identificar as opções que foram seleccionadas para o ensino de conceitos, se foi uma abordagem contextualizada, utilizando por exemplo situações ou factos do dia-a-dia ou se pelo contrário se recorreu à História da Ciência; se o uso da história é meramente ilustrativo, passando por datas e bibliografia, ou então se os conceitos são abordados como meras definições matemáticas. Enfim os manuais escolares permitem uma visão alargada de propostas didácticas diversificadas de acordo com orientações curriculares em vigor. Como o aluno só tem acesso a um manual na maior parte dos casos, ele aceita como verdade absoluta sem sequer contestar o que está escrito.

Foram analisados cinco manuais escolares no que diz respeito às diferentes abordagens didácticas no ensino das interacções físicas à distância, nomeadamente o conceito de campo, ao nível do 11º ano do Ensino Secundário.

Somente um dos manuais referia que *“A noção de campo é geral: se for possível associar a cada ponto de uma região do espaço um valor de uma certa grandeza física, nessa região existe um campo.”* (Belo e Caldeira, 2008). As autoras do manual **“Ontem e Hoje 11”** e do próprio Programa de Física e Química A, complementam com a História da Física, mencionando que foi Faraday que criou o conceito de Campo de Forças. Após esta referência

definem campo eléctrico, campo gravítico e por fim campo magnético: *“Uma carga eléctrica, em qualquer ponto que seja colocada, interage com outras cargas. Podemos, portanto, afirmar que cria um campo eléctrico ou que fica sujeita a forças do campo eléctrico criado por outras cargas (fontes de campo). [...], a interacção gravítica pode ser estudada através da noção de campo, neste caso, o campo gravítico. Por exemplo, no campo gravítico terrestre, a fonte de campo é a Terra: qualquer massa colocada nesse campo sente a atracção da Terra. [...] Numa região em que a influência de uma fonte magnética se faça sentir podemos afirmar que existe um campo magnético.”*

Começo por comentar a utilização da palavra “massa” (qualquer massa colocada nesse campo...), as autoras poderiam utilizar “corpo”, “partícula material”. A utilização deste termo neste contexto só irá aumentar os conceitos alternativos dos alunos.

Em Física o conceito de campo não é uma entidade material, mas, tal como o conceito de força, torna-se num auxiliar muito útil em todo o processo de ensino-aprendizagem. Maxwell era adepto de utilizar “modelos conceptuais” que servissem de analogia com os fenómenos estudados, independentemente de representarem ou não a realidade, desde que a sua utilização servisse para clarificar a compreensão dos fenómenos.

“...sabe-se que dois corpos separados por uma certa distância exercem influência mútua sobre os movimentos um do outro. Dependerá esta acção da existência de uma terceira coisa, um agente de transmissão que ocupa espaço entre os corpos ou será que os corpos agem uns sobre os outros imediatamente, sem intervenção de nada mais? (Krapas e Silva, 2007)”

Sobre o mesmo assunto “11 F” (Fiolhais *et al*, 2008), não definem campo e utilizam exemplos bem conseguidos para distinguir campo magnético do eléctrico:

“A interacção entre dois ímanes é uma interacção à distância. Se colocarmos no espaço que rodeia o íman um segundo íman, este fica sujeito a uma força magnética. Dizemos que o primeiro íman gerou um campo magnético. A ideia de campo ajuda-nos a compreender melhor as interacções como fenómenos à distância. Um íman cria à sua volta um campo magnético que é uma espécie de intermediário entre o íman e os objectos que com ele interagem...”

Do mesmo modo chegam ao conceito de Campo Eléctrico: “ [...] *uma partícula de carga eléctrica ‘Q’ colocada num certo ponto do espaço [...] coloca num outro ponto uma outra partícula de carga eléctrica ‘q’ com o mesmo sinal. A primeira partícula exerce sobre a segunda uma força repulsiva. A interacção entre partículas carregadas pode compreender-se melhor recorrendo, mais uma vez à ideia de campo. Podemos pensar que a partícula Q cria um campo no espaço à sua volta, denominado campo eléctrico. A carga q “sente” o campo eléctrico criado por ‘Q’.*”

Em “**Física na Nossa Vida**” (Dias e Rodrigues, 2008) definem, em caixas de texto bem marcadas, os conceitos de campo magnético e eléctrico assim como as linhas de campo:

“ [...] *Há uma perturbação do espaço que rodeia tanto os ímanes como as correntes eléctricas que fluem nos circuitos. Esta perturbação manifesta-se por forças exercidas em ímanes e nas cargas eléctricas em movimento, que originam os campos magnéticos. [...] Um condutor electrizado e um campo magnético variável originam um campo de forças no espaço que os rodeia. Estas forças manifestam-se através da acção que exercem nas cargas eléctricas. Diz-se que existe um campo eléctrico no espaço que rodeia qualquer distribuição de cargas eléctricas. O campo eléctrico é uma perturbação que tem a sua origem em cargas eléctricas e em campos magnéticos variáveis.*”

Estas autoras fazem referência às linhas de campo e mais uma vez recorrem à História da Física: “*Faraday foi quem se referiu pela primeira vez às linhas de campo, quando pretendeu visualizar o campo magnético criado por um íman.*”

O conceito de campo desempenha um papel-chave nas teorias de unificação da Física.

Por outro lado, em “**Física 11**” (Resende et al, 2008), os autores referem de uma maneira demasiado simplista e pouco esclarecedora:

“ *O campo magnético é uma região do espaço onde se manifesta o magnetismo. O magnetismo verifica-se à distância e apenas para algumas substâncias.*” Como exemplo do referido indicam o íman.

“ O campo eléctrico é um campo criado por uma carga eléctrica, ou por um conjunto de cargas eléctricas. Essas cargas eléctricas podem ser electrões, prótons ou iões.” Mencionam posteriormente numa caixa de texto: *“as linhas de campo magnético são linhas imaginárias que representam a direcção e a intensidade do campo magnético.”*

No último manual analisado **“Desafios da Física”** (Silva, 2008), o autor coloca como subtítulo ‘conceito de campo magnético’, e este é descrito experimentalmente ou seja observando o comportamento de uma agulha magnética em diferentes posições, próximo da influência de um íman, fazendo a caracterização do vector campo magnético.

É interessante comparar a noção de campo magnético, analisando um Manual dos finais dos anos sessenta, único²⁹ para o 3º ciclo liceal (7º ano), “Curso de Física”:

Campo Magnético – No espaço à volta de uma massa magnética manifestam-se as acções desta sobre qualquer outra massa magnética. Dizemos que nesse espaço há um campo magnético, o qual é da mesma natureza do campo gravítico e do campo eléctrico: é um campo newtoniano. [...] o campo magnético é definido em cada ponto pelo vector intensidade do campo. A linha que é tangente em cada ponto a este vector chama-se linha de força.

Verifica-se aqui a utilização de “massa magnética”, mas não podemos esquecer que estamos a referir-nos a um manual dos anos sessenta.

Concluindo, esta investigação apontou para múltiplas atribuições dadas ao conceito campo:

- *Campo é uma região do espaço;*
- *Campo é um vector;*
- *Campo é uma alteração do espaço;*
- *Campo interage com partículas.*

²⁹ Aprovado oficialmente como livro único – Diário do Governo nº128, II série, de 1 de Junho de 1966, mas foi adoptado desde 1954 até 1974.

Parece não ser possível fugir da ideia de campo como região do espaço. A maioria dos manuais analisados apresenta esta concepção. O campo pode ser simplesmente uma região, ou então, mais precisamente uma região onde se manifesta interacção física sem existir contacto entre os corpos. Num espaço onde existem forças, há um campo. Esta ideia insere-se na perfeição no estudo matemático, campo como vector. Um vector para cada ponto do espaço capaz de nos dar as características da força que actua num ponto. Se designarmos o espaço por campo, o vector que caracteriza o campo não pode ter o mesmo nome do espaço. Não é difícil perceber que para os alunos, tal variedade de “definições”, presente em maior ou menor grau nos diversos manuais analisados, em vez de esclarecer, irá criar alguma confusão. Ainda mais que uma coisa é associar um campo a grandezas como a velocidade e temperatura; a outra é associar um campo a uma grandeza designada por campo. É necessário proceder à distinção entre campo-região e o campo-vector.

Uma situação que merece algum destaque, pela maneira como apresenta a definição de campo, está no livro “Curso de Física de Berkeley”. Apesar de ser mais utilizado no Ensino Superior, a sua linguagem parece acessível para estudantes do ensino secundário. O autor define assim “Campo”:

“Vamos supor um conjunto de cargas q_1, \dots, q_N fixas no espaço, vamos considerar, não as forças que elas exercem entre si, mas os efeitos que produzem sobre outra carga q_0 , que está colocada nas proximidades. Sabemos calcular a força resultante dessa carga [...] A força é proporcional a q_0 ; assim se dividirmos por q_0 , obteremos uma grandeza vectorial que depende apenas da estrutura do nosso sistema original de cargas, q_1, \dots, q_N e da posição do ponto (x, y, z) . A função vectorial de x, y, z é designado por campo eléctrico criado por q_1, \dots, q_N e representa-se pela letra E . [...] O campo eléctrico é uma outra maneira de descrever o sistema de cargas; ou seja é a força por unidade de carga, em módulo, direcção e sentido, que uma carga de prova q_0 sofre em qualquer ponto. [...] o vector campo eléctrico num ponto do espaço é tudo o que precisamos conhecer para calcular a força em qualquer carga naquele ponto [...]. O campo eléctrico atribui a cada ponto do sistema uma propriedade local: se conhecermos E numa pequena vizinhança, então sabemos, o que acontecerá às outras cargas à volta. Não há necessidade de saber que fontes produziram o campo. Se conhecemos o campo eléctrico em todos os pontos do espaço, temos uma descrição completa de todo o sistema, que inclusive

poderá revelar as posições e intensidades de todas as cargas. (Purcell, 1970, p. 16-18)

Esta definição é muito mais abrangente comparando com os manuais analisados. Ao caracterizar o vector campo fazendo a ligação ao seu significado físico, permite diminuir a ocorrência de confusões frequentes entre campo e a força. Quanto à utilização da analogia entre campo gravítico e campo eléctrico, a maioria dos nossos alunos associa campo gravítico à Terra e o conhecimento da expressão que determina o peso de um corpo, que caracteriza a força gravítica. Para resolver este problema e despertar o espírito crítico dos alunos, ampliando a sua própria compreensão sobre a ciência, poderemos então recorrer à história da ciência como fio condutor para o ensino de campo, explicitando o contexto capaz de sustentar as várias atribuições deste conceito. Mas infelizmente em alguns manuais, esta é mal utilizada, surgindo como mero ornamento no interior de discursos predominantemente autoritários e que frequentemente reforçam os conceitos alternativos dos alunos.

Mas não podemos cair no oposto, nem podemos, transformar a disciplina de Física em História da Física. O docente terá também que realizar um grande investimento intelectual e de tempo, pois não foi preparado para leccionar História da Ciência, apesar de existir uma minoria de docentes que gostam de falar sobre a história que se encontra na base da descoberta e/ou evolução de determinado conceito físico.

4. Análise de Manuais Escolares e Orientações Curriculares

A filosofia das novas orientações curriculares para o Ensino Básico propõe uma abordagem de forma mais globalizante e interdisciplinar dos temas. Esta filosofia será a mais correcta se pensarmos que, com a mudança tecnológica acelerada e a globalização do mercado, vai ser cada vez mais necessário formar indivíduos com educação geral em diversas áreas, capacidades de comunicação, flexibilidade em termos de adaptação a novas funções e com a capacidade de aprender ao longo da vida. Estas competências não se coadunam com um ensino científico compartimentado em conteúdos

desligados da realidade e por vezes, sem qualquer ligação directa às necessidades do quotidiano. Além disso, a sociedade necessita cada vez mais de cidadãos com uma preparação científica ao nível do ensino básico globalizante que lhes permita seguir por exemplo um debate científico com interesse ou tomar posições em questões que a ciência ou a tecnologia colocam.

Ao seleccionar o tema Electromagnetismo como tópico de ensino não pretendo afirmar que os actuais currículos privilegiem este domínio de conhecimento e o desenvolvam em quantidade. Pelo contrário, esta área da Física é abordada de modo superficial no ensino básico com um pouco mais de complexidade no secundário. No ensino básico não poderia ser de outro modo, dada a complexidade dos conceitos envolvidos e a estrutura mental dos alunos, cujas idades, compreendidas entre os doze e os quinze anos, não permitiriam outro tipo de abordagem. No ensino secundário é no 11º ano (Unidade 2, que trata de ondas, electromagnetismo e óptica geométrica³⁰) que se aprofunda um pouco mais o electromagnetismo em termos teóricos e se quantifica algumas das grandezas físicas envolvidas. É uma unidade onde se conjugam uma série de assuntos, sendo questionável que se consiga uma boa interligação entre os vários temas propostos. Parece-me também que a abordagem matemática podia ser mais desenvolvida e trabalhada, mas o programa preconiza que não se trate matematicamente grandezas como campo eléctrico e magnético, somente Fluxo magnético e Força electromotriz.

<ul style="list-style-type: none"> • Fluxo magnético que atravessa uma superfície de área A em que existe um campo magnético uniforme \vec{B} 	$\Phi_m = B A \cos \alpha$
α – ângulo entre a direcção do campo e a direcção perpendicular à superfície	
<ul style="list-style-type: none"> • Força electromotriz induzida numa espira metálica 	$ \varepsilon_i = \frac{ \Delta\Phi_m }{\Delta t}$
$\Delta\Phi_m$ – variação do fluxo magnético que atravessa a superfície delimitada pela espira, no intervalo de tempo Δt	

Figura 26 – Parte do Formulário do exame de Física e Química A – 2ª fase (2008)

³⁰ Uma das grandes proezas da teoria de Maxwell foi incluir a Óptica na Teoria Electromagnética que até então estava isolada.

No geral parece-me um programa demasiado extenso, que a ser desenvolvido e aplicado com tempo suficiente poderia até vir a mostrar-se bastante interessante e motivador tanto para o professor como para o aluno. Mas como o nível de aprofundamento de alguns conteúdos não está claro, fica a cargo do docente dar-lhe o adequado tratamento de acordo com o tempo disponível. A meu ver tem todos os ingredientes para um tratamento de cariz experimental, infelizmente existem alguns contras, nomeadamente a formação e/ou menor habilidade do docente no manuseamento de equipamentos como o osciloscópio e o gerador de sinais (algumas escolas nem possuem estes equipamentos ou os têm, mas em reduzida quantidade). Recomenda-se aqui a utilização frequente de mapas de conceitos e de “V’s” de Gowin.

O manual escolar é também uma ferramenta de trabalho importante e marcante no processo ensino e aprendizagem. Tem constituído ao longo dos tempos um instrumento educativo privilegiado que tem influenciado as actividades desenvolvidas em sala de aula e é um dos recursos mais utilizados pelos professores e alunos, sendo portanto relevante para as concepções de ciência e de cientistas construídas por estes últimos. Daí que a análise de conteúdos seja importante e tenha sido objecto de diversas investigações, que incluem por exemplo: tipo de ilustrações, metáforas, analogias, trabalhos experimentais propostos, compreensão de manuais por parte dos alunos e a problemática das concepções alternativas (Saraiva, 2003). Num estudo realizado em Portugal, verificou-se que 92,5% dos professores inquiridos indicaram os manuais como uma das fontes de informação mais importantes, desses professores, 77% utilizam com frequência ou quase sempre o manual seleccionado pela escola na preparação das suas aulas (Cachapuz e Campos, 1997).

Infelizmente, a maior parte dos docentes utilizam o manual como algo perfeito, isento de críticas e muitas vezes como a única ferramenta de trabalho. Apoiam-se em demasia no livro de texto, esquecendo-se que se pode aprender a partir dos mais variados materiais educativos. Devemos acima de tudo saber criticar e avaliar um manual, pois este não é de modo algum um

produto acabado, mas deverá, sempre que possível ser melhorado e actualizado.

4. 1 Ensino Básico

Quando se fala em alunos do 7º ano devemos ter em atenção que é a primeira vez que contactam com a disciplina de Ciências Físico-Químicas. O vocabulário que os alunos irão ouvir ao longo de um ano lectivo é novo para a grande maioria. O professor deve ter algum cuidado na sua utilização, na medida em que os alunos têm que gradualmente transformar os conhecimentos do dia-a-dia em conhecimento e linguagem científica, o que para muitos se revela demasiado complexo, pois depende em muito das vivências de cada um, como já foi referido. Deste modo:

“... Há necessidade de uma intervenção planeada do professor, a quem cabe a responsabilidade de sistematizar o conhecimento, de acordo com o nível etário dos alunos e dos contextos escolares...” (Currículo Nacional do Ensino Básico).

Após uma leitura atenta dos conteúdos do programa do 7º ano, verifica-se que este não refere de uma forma clara o tema magnetismo, este é introduzido indirectamente nos manuais analisados quando se aborda o tema “A Terra no Espaço”, no Capítulo: Planeta Terra, subcapítulo: Movimentos e Forças. Alguns manuais não fazem qualquer referência, outros na minha opinião exageram e outros simplesmente falam no magnetismo quando mencionam que as forças podem ser de contacto e à distância e que estas últimas podem ser gravíticas, eléctricas e magnéticas, o que para alunos destas idades pode não ser fácil de apreender.

Tabela 1 – Lista de Manuais analisados – 7º Ano

Manual	Conteúdos desenvolvidos
“Eu e o Planeta Azul” Porto Editora	<i>... as forças podem ser de contacto e à distância e as últimas podem ser gravíticas, eléctricas e magnéticas.</i>
“Terra Mãe” Texto Editora	<i>As interacções podem ser por contacto ou à distância [...] Por exemplo, se aproximarmos um íman de um clipe, este é atraído sem que o íman lhe toque. As forças eléctricas também são forças deste tipo.</i>

7 CFQ Texto Editora	<i>... Muitas vezes não há contacto entre o agente e o objecto. Estas forças exercem-se à distância: é o caso das forças eléctricas, gravíticas e magnéticas. Propõem o estudo dos efeitos das forças magnéticas experimentalmente utilizando ímanes e outros materiais. Referem a Terra como um gigantesco íman e a orientação pela bússola.</i>
"Terra no Espaço" Didáctica Editora	Desenvolve a orientação pela bússola e todo o suporte histórico, menciona Gilbert e a sua ideia da Terra como íman gigante. Neste manual surge como título "Campos de Forças e Forças Gravitacionais" onde indica ... <i>A ideia vulgar de força é sinónimo de puxar ou empurrar, o que implica contacto entre corpos. Mas, como vês, podem actuar forças ou interacções à distância, portanto sem um corpo tocar noutro! Os cientistas dizem que há campo de forças, isto é, zonas do espaço onde se fazem sentir atracções ou repulsões dos corpos.</i> Refere a interacção entre ímanes e ilustra com um circuito a lei de Ampère, mas não a menciona em lado nenhum.
"Física e Química na nossa Vida" Porto Editora	Unicamente menciona forças que actuam à distância e manifestam-se sempre como forças de atracção. Desenvolve as forças gravíticas.
FQ Terra no Espaço ASA	Titulo "O magnetismo terrestre". Apresenta diversas formas de ímanes e uma foto da magnetite. Menciona campo magnético e existem fotos que o evidenciam com a ajuda da limalha de ferro, antes e depois da acção do íman. Indica a Terra como íman gigante pelo facto de ser constituída por "ferro no estado líquido" na constituição do seu núcleo. Identifica os pólos de um íman e esquematiza a acção de um íman sobre agulhas magnéticas. Dá orientações para a utilização e construção de uma bússola.
Ser com Saber Plátano Editora	Refere forças de contacto e dá exemplos. Relativamente às forças à distância, afirma: <i>"Contudo, se aproximares dois ímanes, verificarás que não é necessário existir contacto para que interajam, ou seja, interagem mesmo à distância. Neste caso diz-se que estamos em presença de forças à distância. Há outros exemplos de forças à distância".</i> Mais à frente fala em forças gravíticas, mas não refere que são também forças à distância.
Terra.Lab Lisboa Editora	Indica que as forças podem ser exercidas por contacto e à distância. Dá exemplos com ímanes e apresenta um texto sobre o magnetismo terrestre. Propõe uma actividade experimental que tem como objectivo a observação das forças eléctricas e magnéticas
Acção Re)acção7 Areal Editores	Refere os efeitos das forças, mas não há qualquer comentário a forças de contacto ou à distância. Quando apresenta o conceito de força indica que é um caso particular da força gravítica.

É muito importante que os alunos compreendam o conceito de força e sejam capazes de identificar os diferentes tipos de forças, de acordo com os seus

efeitos. Mas identificar forças como grandezas vectoriais já me parece um exagero (dos livros analisados, alguns classificam a força como grandeza vectorial). Nesta faixa etária é difícil que consigam entender o que é um vector e a diferença entre o sentido e a direcção, apesar das analogias a que os professores recorrem (utilização da rosa dos ventos, que eles trabalham em Geografia ou o exemplo da estrada com dois sentidos).

Quando se introduzem conceitos como “força de contacto”, “à distância”, “identificação dos pólos de um íman”, “forças de atracção e de repulsão”, deve-se sempre que possível fazê-lo através da realização de actividades experimentais, o visualizar e o “aprender, fazendo” é fundamental. Citando Rómulo de Carvalho no seu livro “A Física para o Povo” (1ª edição de 1968), cuja designação actual é “A Física no Dia-a-Dia”, refere a certa altura:

“O meu amigo sabe pela experiência da sua vida [...] e julga que por saber isso já sabe a razão porquê. Engana-se. Uma coisa é saber o que se passa; outra é saber porque se passa. Não devemos confundir as duas coisas” (Carvalho, 2005).

A aprendizagem não se resume simplesmente ao fazer e é nesta altura que os alunos têm de ser treinados a pensar sobre o que estão a fazer. No que diz respeito ao funcionamento da bússola, há que ter algum cuidado, nomeadamente quando se compara a Terra com um íman gigante, os alunos fazem muita confusão entre pólos magnéticos e pólos geográficos. A maior parte dos alunos e mesmo alguns professores nunca utilizaram uma bússola, sendo, portanto, uma boa altura para realizar uma saída de campo, de orientação com este aparelho ou mesmo construir uma bússola. Rómulo de Carvalho ensina a construir uma bússola:

“O meu amigo já ouviu falar em bússolas? Sabe para que servem e como funcionam? Vou ensinar-lhes a fazer uma bússola, e vai ver como é fácil”. (Carvalho, 2007)

Todos os conteúdos referidos vão ser novamente tratados no 9º ano, com um desenvolvimento mais profundo. Aconselho a que no 7º ano se mencione o estritamente necessário à compreensão de alguns conceitos, sem nos alongarmos demasiado, visto o programa preconizado para ser leccionado no 7º ano ser bastante extenso.

Como indicações futuras, o conceito de vector deverá ser introduzido no 9º ano, pois penso que só a este nível faz sentido para os alunos perceberem a diferença entre grandezas vectoriais e escalares. A noção de campo, que é dos conceitos mais complicados e com ideias alternativas muito resistentes, é introduzida no 9º ano através da utilização da limalha de ferro (utilizada também por Faraday para o mesmo fim). Em dois dos nove manuais do 7º ano analisados, aparecem os conceitos de “campo eléctrico” e “campo magnético” que, na minha opinião, não deveriam ser mencionados.

A inserção de algumas referências históricas pode facilitar a apropriação do conhecimento científico, de modo a que estes alunos percebam que a ciência está sempre em evolução. Quando se fala em História da Ciência somente um dos manuais refere Gilbert e a sua contribuição para a história do magnetismo.

Relativamente ao **9º ano**, trata-se do terceiro ano em que os alunos lidam com Física, pelo que os modelos mentais a criar já serão mais evoluídos e outros irão ainda ser consolidados. O elevado grau de dificuldade que alguns conceitos apresentavam no 7º ano é na sua grande maioria ultrapassado mas como é óbvio surgirão outras dificuldades à medida que o professor avança.

O Currículo Nacional do Ensino Básico refere, no que concerne ao 9º ano:

“O estudo do electromagnetismo justifica-se atendendo à sua aplicação em muitos aparelhos que utilizamos diariamente. No entanto, preconiza-se aqui uma abordagem bastante simplificada ”

Foram analisados sete manuais do 9º ano:

Tabela 2 – Análise de Manuais – 9º ano

MANUAL	CONTEÚDOS DESENVOLVIDOS
(CFQ) 9 Areal Editores	Parte dos efeitos da corrente eléctrica, efeitos magnéticos para introduzir o Electromagnetismo. A Experiência de Ampère surge para relacionar experimentalmente a corrente eléctrica com os fenómenos magnéticos. Define solenóides como materiais que se magnetizam (ímans artificiais). Introduz o conceito de campo utilizando a limalha de ferro e propõe a construção de um electroímán, relacionando o nº de espiras e a tensão da pilha com a quantidade de material a atrair. Com a produção de um campo magnético, verifica-se o fenómeno oposto, a partir do movimento de um ímán cria-se corrente eléctrica – Indução de corrente eléctrica, e menciona Faraday

	como o grande mentor deste facto e dá exemplos de aplicações no dia-a-dia.
FQ 9 Asa	Segue a mesma sequência, introduzindo de modo idêntico a História da Ciência.
Universo da Matéria Santillana	Inicia o tema referindo o que é um íman, identificando os pólos, as forças de atracção e repulsão, a Terra como um íman e o funcionamento da bússola. Tal como os outros manuais introduz a noção de campo com a limalha de ferro, mas aqui não fazem menção à História da Ciência. Referem Ampère e Faraday, tal como os anteriores manuais já analisados.
9CFQ Texto Editores	Começa por definir campo magnético, partindo para o funcionamento do electroíman e referindo que se uma corrente eléctrica produz um campo magnético, então o oposto também se verificará. Quase nenhuma referência a Faraday e nenhuma a Ampère.
Terra.lab Lisboa Editora	Inicia o tema falando em campo eléctrico (cargas eléctricas), e em grandeza vectorial, introduz a noção de campo magnético, também uma grandeza vectorial, utilizando ímanes. Posteriormente fala no efeito magnético da corrente eléctrica, introduz Oersted e passa à indução electromagnética, mas Faraday não é mencionado.
Física e Química na Nossa Vida Porto Editora	Inicia o tema com a distinção entre ímanes naturais e artificiais. Noção de pólo norte e pólo sul. Pólos do mesmo tipo repelem-se e de pólos diferentes, afastam-se. Define campo magnético: [...] <i>à propriedade associada em cada ponto do espaço, responsável pelos efeitos observados sobre um corpo magnético colocado nesse ponto.</i> Visualização do campo magnético através da interacção do íman com limalha de ferro. A experiência de Oersted é referida complementada com reduzidos factos históricos. Os electroímanes e o funcionamento de alguns equipamentos do nosso dia-a-dia também se encontram descritos. Por fim os efeitos eléctricos do magnetismo: correntes induzidas, entrando aqui a figura de Faraday. Corrente contínua e corrente alternada.
Eu e o Planeta Azul – Porto Editora	Estrutura semelhante ao anterior.

Os manuais investigados seguem de um modo geral o recomendado no Currículo do 3º ciclo. Os diferentes conceitos são abordados de modo idêntico. Os Manuais de um mesmo grupo de autores num mesmo ciclo de ensino seguem uma mesma linha condutora, daí que a ênfase dada a um determinado assunto dependa do grau de desenvolvimento desse assunto no manual do 7º ano. Faz todo o sentido mencionar Ampère e Faraday, mas alguns manuais

referem apenas uma pequena biografia de cada um destes investigadores, o que é manifestamente pouco para a importância que estes homens tiveram neste campo da Ciência. A não referência à História da Ciência no ensino de um determinado conceito pode dificultar o diálogo e a reflexão dos alunos sobre esse conceito. Os alunos devem ser informados que a sua definição sofreu mudanças ao longo do tempo e que a ciência é um processo dinâmico e sempre em evolução.

Nesta fase da aprendizagem o aluno deve saber distinguir grandezas escalares e vectoriais, mas continua a não fazer sentido caracterizar as grandezas campo eléctrico e campo magnético, estas competências serão desenvolvidas no 11º ano.

Considero importante fazer alusão ao electromagnetismo utilizando exemplos muito concretos do nosso dia-a-dia. A Física de um dínamo de uma bicicleta, a construção de um motor rudimentar, a construção de um íman *"Vou ensinar o meu amigo a fazer um íman sem ser por meio da fricção com outro íman."* (Carvalho, 2005), serão óptimos pontos de partida para introduzir diversos conceitos e compreender o funcionamento de uma central hidroeléctrica ou termoeléctrica.

4. 2 Ensino Secundário

Seis manuais de Física de 11º ano foram estudados relativamente ao Tema "Electromagnetismo". Este tema está incluído num outro mais abrangente que se designa por "Comunicações a curtas distâncias e a longas distâncias". Daí que o programa se inicie no estudo das ondas, como propagação de um sinal sonoro que é recebido ou emitido por alguém que se encontra a uma longa distância e que por essa razão tem que utilizar um microfone ou então um altifalante, o primeiro converte energia sonora em energia eléctrica e o segundo precisamente o contrário. E é aqui que começa a aventura do electromagnetismo, pois no interior destes aparelhos existem ímanes.

Como metodologia, é feita uma apresentação dos livros analisados e comentários sobre os conceitos de campo e fluxo, complementados com

algumas citações que pretendem esclarecer melhor ambos os assuntos, assim como a ligação que fazem com a História da Física.

Tabela 3 – Manuais de Física – 11º ano

<p>11F Física e Química A</p> <p>Texto Editores</p>	<p>Inicia o tema, com a questão o que são Campos Magnéticos? <i>Os microfones e os altifalantes não funcionariam sem os campos magnéticos criados por ímanes.</i> Caracteriza o íman e refere que <i>a ideia de campo ajuda-nos a compreender melhor as interações à distância.</i> Utiliza a ideia de Maxwell³¹ de que existe um 'mediador' ou 'intermediário' entre o íman e os objectos com que interagem. Refere o Tesla (surge uma pequeníssima biografia do Nikola Tesla) como unidade S.I. de campo magnético. Representa as linhas de campo utilizando a limalha de ferro. Caracteriza o vector campo. Tal como os ímanes, a corrente eléctrica cria campos magnéticos e aqui referem Oersted, explicando a forma como este chegou a esta conclusão, assim como uma figura onde se visualiza o campo magnético criado por uma corrente e a regra da mão direita para determinar o sentido das linhas de campo. Refere campo magnético e espectro³² magnético e apresenta figuras com espiras e bobinas. Faz a caracterização do campo eléctrico, são visualizadas as linhas de campo eléctrico criadas por cargas eléctricas. Introduce o conceito de fluxo magnético a partir de uma espira e relaciona-o com a área da espira, a orientação e a intensidade de campo. Assim como a corrente eléctrica cria um campo magnético, o fenómeno oposto também ocorre – Indução electromagnética, mencionando aqui Faraday como o homem que o confirmou experimentalmente e que concluiu que a força electromotriz induzida está relacionada com a rapidez com que o fluxo varia por unidade de tempo – Lei de Faraday. Finalizam com o modo de funcionamento do microfone e do altifalante. Fazem referência a Morse, Maxwell e Hertz.</p>
<p>Física 11</p> <p>Areal Editores</p>	<p>Surge de forma semelhante o microfone e o altifalante, cujo funcionamento também é explicado no fim do capítulo. Define campo magnético como "Campo magnético é uma região do espaço onde se manifesta o magnetismo. Este manifesta-se à distância e apenas para algumas substâncias". Caracteriza os ímanes e identifica a Terra como íman permanente. Apresenta uma figura com um espectro magnético formado por um íman e pela primeira vez menciona a "História da Ciência" de um modo apelativo, mostrando a experiência de Oersted com uma figura de época. Fala de Tesla e define, resumidamente, campo eléctrico quantificando-o. Caracteriza campo magnético, eléctrico e linhas de campo através de figuras sugestivas. Na introdução do conceito de fluxo, faz a analogia com o escoamento de água através de um tubo, <i>"... já que a noção de fluxo</i></p>

³¹ "...sabe-se que dois corpos separados por uma determinada distância exercem influência mútua sobre os movimentos um do outro. Esta acção dependerá da existência de um terceiro elemento, um agente de transmissão que ocupa espaço entre os corpos ou será que os corpos agem uns sobre os outros imediatamente, sem intervenção de nada mais? (ver Revista Brasileira do Ensino da Física 26, 273, 2004)

³² Chama-se espectro magnético à figura obtida com a limalha de ferro disposta ao longo das linhas de força.

		<p><i>magnético é idêntica à de caudal. Sendo o caudal a quantidade de fluido que atravessa a secção recta do tubo pelo qual escoar por unidade de tempo, verifica-se que depende do diâmetro do tubo e da velocidade de escoamento.</i>». Define fluxo magnético. Estabelece a diferença entre um solenóide e uma bobina. Passa posteriormente para a indução electromagnética (lei de Faraday), surgindo novamente numa caixa de texto (História da Ciência) uma referência ao trabalho de Faraday.</p>
Desafios da Física	Lisboa Editora	<p><i>"Para entender o funcionamento do altifalante e do microfone temos de estudar, com mais detalhe, alguns conceitos do electromagnetismo: campo magnético, eléctrico, efeito magnético da corrente eléctrica e a indução."</i> Introduz o conceito de campo, caracteriza-o e refere o instrumento que mede a intensidade de campo magnético. Visualizam-se espectros magnéticos e linhas de campo. Apresenta uma caixa de texto com a designação "Física no quotidiano". Caracteriza campo eléctrico e visualizam-se linhas de campo eléctrico e aqui introduz a experiência de Oersted mencionando, pela primeira vez, um pouco de História da Ciência. Menciona a regra da mão direita para "memorizar" o sentido das linhas de campo, bem como as diferenças entre solenóide e bobina e apresenta espectros magnéticos. Explica o funcionamento do altifalante, define fluxo magnético e a indução electromagnética onde descreve como Faraday chegou este conceito. Apresenta uma figura da época com o conjunto de dispositivos utilizados por Faraday. Define a Lei de Faraday e explica o funcionamento do microfone. Na "Física do quotidiano" fala dos discos rígidos e das disquetes. A utilização da História da Ciência é feita com carácter meramente factual, ao longo do texto e, na barra lateral do manual inclui, quando necessário, uma pequena caixa de texto com o título "Cientistas que fizeram história".</p>
Física Na Nossa Vida 11	Porto Editora	<p>Toda a sequência deste manual é semelhante à dos restantes. No que se refere ao campo magnético, indica o Gauss como unidade mais prática de intensidade de campo magnético, refere o campo eléctrico e as unidades S.I. Passa depois às linhas de campo magnético e eléctrico e sua visualização. Explica a noção de fluxo magnético e quantifica. Na indução electromagnética, refere pela primeira vez os dois investigadores responsáveis, Faraday e Henry, assim como a utilização de um íman de neodímio, "muito forte" para criar correntes induzidas. Define força electromotriz e chega à Lei de Faraday. Por fim, explica o funcionamento de um microfone e de um altifalante.</p>
Ontem e Hoje 11	Porto Editora	<p>Para entender o funcionamento do microfone e do altifalante temos que estudar o fenómeno da Indução Electromagnética. Começa por definir o conceito de campo, "os campos podem ser escalares ou vectoriais" [...] <i>"...um campo de velocidades é um campo vectorial e um campo de pressões é um campo escalar."</i> Como se cria e detecta um campo magnético, as suas propriedades. Como se cria e detecta um campo eléctrico e. As linhas de campos criados por ímanes, espiras e fios rectilíneos. Explica a indução electromagnética, mencionando Faraday e Henry, fluxo magnético, indução electromagnética e por fim a lei de Faraday. Numa pequena caixa de</p>

	texto referem que os “ <i>Físicos do séc. XIX, tal como Faraday, utilizaram a ideia de fluxo por analogia com o fluxo (caudal) dos líquidos, na tentativa de interpretar os fenómenos magnéticos</i> ”...Refere a indução electromagnética e os geradores e a sua importância no nosso dia-a-dia e por fim o funcionamento do altifalante e do microfone.
Energia em Movimento Santillana	A análise do capítulo ‘Electromagnetismo’, indica que é seguido o mesmo conjunto de ‘passos’ para introduzir conceitos e teorias. É interessante verificar que, para além da imagem usual da corrente a passar num fio condutor vertical, apresenta também a situação oposta, a corrente eléctrica a atravessar um fio na horizontal e as respectivas linhas de campo, dando ao aluno a possibilidade de comparar. Quando menciona a indução electromagnética apresenta diversas figuras elucidativas do fenómeno e, sendo caso único, refere a lei de Lenz. Relativamente à História da Ciência, esta é referida no texto no caso de Oersted e Faraday e surge também em caixas laterais com a designação de “curiosidade”.

O ensino secundário exige cuidado redobrado no modo como são abordados os conteúdos e relacionados com o currículo aprovado pelo Ministério da Educação. Todos os manuais analisados apresentam um mesmo fio condutor, o estudo do electromagnetismo surgindo naturalmente como uma necessidade de explicar o funcionamento do altifalante e do microfone e fazendo-se todo o desenvolvimento de conteúdos a partir daí.

Verifica-se que, apesar de o programa referir: “*Não se pretende o estudo de qualquer expressão de intensidade dos campos*” alguns autores fazem-no, apresentando mesmo exemplos da sua aplicação. Não faz nenhum mal aos alunos realizarem cálculos, mas o conteúdo do programa é demasiado extenso e assunto volta a ser falado no 12º ano (infelizmente apenas uma pequena parte dos alunos escolhem Física). Ficará assim ao critério do professor.

Verifica-se que a “resolução de exercícios” encontra-se ainda enraizada em alguns professores de Física e é ainda uma das metodologias mais utilizadas nas suas aulas. Muitos dos alunos com maior ou menor facilidade conseguem adquirir esta competência, aplicando directamente as expressões matemáticas, mas não interiorizam os diversos conceitos físicos que estão na base de determinado fenómeno e que recorreram da matemática para o explicar. Quando são questionados sobre fenómenos do nosso dia-a-dia, não sabem

relacionar as expressões matemáticas, que aplicam e memorizaram, com a física que se encontrava por trás desse fenómeno. Actualmente já existe algum trabalho por parte dos docentes para contrariar esta situação.

A linguagem matemática é uma importante ferramenta que está ao dispor da Física, mas os alunos têm primeiro que conhecer os fundamentos físicos para depois a aplicarem ou então partirem da execução de uma actividade experimental e explorarem a teoria nela envolvida. Infelizmente, verifica-se também que muitos alunos têm um suporte matemático frágil e nem sequer conseguem aplicar as expressões matemáticas, as “fórmulas”, na resolução de um exercício e/ou problema. São capazes de aplicar as fórmulas de um modo mecânico, não entendendo o porquê da sua aplicação, daí que algumas actividades na área da modelação/simulação sejam importantes na medida em que o aluno visualiza a ligação entre a teoria e o tratamento matemático.

Relativamente à História da Ciência, de um modo geral todos os manuais a mencionam, com maior ou menor desenvolvimento. Torna-se importante mencionar Oersted, Faraday e Maxwell, mas menos importante é a sua biografia. É fundamental que o aluno entenda como estes investigadores/pensadores contribuíram de uma forma ou doutra, numa determinada época, para a evolução da ciência e da tecnologia. Nesta investigação, verificou-se que destes três investigadores, apenas Faraday é mencionado em todos os manuais, uns integrando-o no texto principal, outros simplesmente em caixas de texto nas laterais das páginas.

As analogias em ciência também são importantes para que os alunos percebam conceitos mais abstractos. No caso do fluxo magnético, apenas um manual faz a analogia com o caudal de um fluido. O conceito de campo, como já foi referido, também não é fácil e alguns manuais conduzem o aluno a uma interpretação errada deste conceito, simplesmente mostrando e interpretando a expressão matemática. E aqui há que ter algum cuidado, pois afirmar que descreve o espaço em redor dos corpos que o produzem, pode não dizer nada ao aluno. Referir que é um vector, que se calcula pelo quociente entre a força

e a massa ou a carga de um corpo é ensinar mecanicamente e é essa situação que o professor de Física pretende evitar.

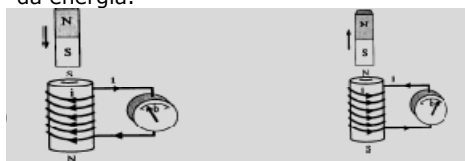
Apesar das orientações curriculares do 11.º ano não sugerirem actividades experimentais obrigatórias no que concerne ao electromagnetismo, considero que o trabalho experimental é fundamental para que os alunos visualizem a relação entre grandezas e entendam o funcionamento dos equipamentos eléctricos, (desmontar um microfone, um transformador de telemóvel, um altifalante, pode ser uma boa ideia). No caso da indução electromagnética, trata-se de uma experiência simples e rápida, se não for possível a sua realização, seria uma boa altura para se utilizar um programa de animação interactiva ou então recorrendo a materiais simples do dia-a-dia, como sugere Rómulo de Carvalho (2005) na experiência¹⁹:

"Desta vez vou ensinar-lhe como se faz um «íman» sem usar ferro nem aço. E vai ver como funciona bem."

Sendo o electromagnetismo um assunto em que os alunos sentem muitas dificuldades, é o momento ideal para que a partir de actividades experimentais se introduza gradualmente o conjunto de conceitos necessários à compreensão deste assunto. Toda esta unidade poderia ser desenvolvida a partir de um trabalho experimental bem preparado pelo docente.

Considero que o programa recomendado para o 11º ano, aquando da introdução da indução magnética (Lei de Faraday), deveria mencionar qualitativamente a Lei de Lenz³³ (enunciada por Hertz), para que o aluno não

³³ Quando se desloca um íman para o interior de uma bobina corresponde à causa responsável pela origem da corrente induzida na bobina. De acordo com a Lei de Lenz, o campo magnético da corrente induzida deve opor-se à aproximação do íman ou seja este deve ser repellido. Para o íman ser repellido a face da bobina virada para o íman deve ser "pólo sul" e a corrente induzida tem a direcção indicada na primeira figura. Se afastarmos o íman da bobina, então a corrente induzida deve opor-se a essa separação, para isso a face da bobina terá que ser a norte. A aproximação e o afastamento do íman relativamente à bobina encontra uma determinada resistência que necessita de superar, o que significa que tem de haver realização de trabalho exterior o que está de acordo com o princípio da conservação da energia.



recorresse à memorização, como acontece frequentemente quando se pretende que os alunos indiquem o sentido da corrente induzida.

Por último, deveríamos dar mais realce aos conceitos prévios dos alunos e à exploração do lado histórico do conhecimento, para que estes possam perceber com mais clareza quais foram as dificuldades encontradas durante todo o desenvolvimento do conceito de campo, por exemplo colocando as suas dúvidas. Além disso, devem ter informação sobre as grandes figuras do passado, que estudaram e investigaram e como tal passaram também por muitas dificuldades. Coloca-se ainda uma outra questão, o problema do tempo, cada docente deverá efectuar a sua melhor gestão, de modo a poder concluir todos os conteúdos.

5. Estudo de um caso

Inquéritos, entrevistas e testes diagnóstico são o modo mais comum de fazer investigação no ensino da Física, nomeadamente no que diz respeito à detecção dos conceitos alternativos dos alunos. Neste trabalho foram aplicados testes diagnóstico a alunos de diversas turmas e diferentes graus de ensino em três escolas da Área da Grande Lisboa.

5. 1 Caracterização da Amostra

As informações foram recolhidas a partir da aplicação de testes diagnóstico durante o segundo período lectivo, a um conjunto de alunos que frequentaram no ano lectivo 2007/2008 a Escola Secundária Dr. José Afonso (Seixal), a Escola Secundária Fernando Namora (Brandoa, Amadora) e o Colégio Atlântico (Pinhal de Frades). As duas primeiras escolas pertencem à rede de ensino público e o último à rede privada. Os testes foram aplicados após os alunos terem trabalhado os diversos conceitos associados ao Electromagnetismo.

Tabela 4- Caracterização da amostra

AMOSTRA	Nº ALUNOS	Nível de Ensino
Escola Secundária Dr. José Afonso, Arrentela, Seixal	70	Básico – 7º ano
	56	Básico – 9º ano
	33	Secundário – 11º ano
Escola Secundária Fernando Namora, Brandoa, Amadora	25	Básico – 7º ano
	26	Básico – 9º ano
	20	Secundário – 11º ano
Colégio Atlântico, Pinhal de Frades, Seixal	19	Básico-7º ano

Os professores das turmas seleccionadas para este estudo são profissionais com mais de 10 anos de experiência no ensino, tanto ao nível do 3º ciclo como do Secundário. No que diz respeito à temática em estudo, nas turmas de 7º e 9º ano tinha sido realizada pelo menos uma actividade experimental. No caso do 7º ano, tratou-se de explorar as forças à distância, onde os alunos manusearam ímanes e objectos de diferentes materiais a fim de verificarem a atracção e repulsão, assim como identificaram os pólos de um íman relacionando com a utilização da bússola e sabendo que a Terra é um íman gigante (falou-se aos alunos em Gilbert, médico da Rainha Isabel I, quem primeiro referiu que a Terra funcionava como um íman gigante). No 9º ano os professores forneceram aos alunos, diferentes materiais com o objectivo de verificar quais são atraídos por ímanes, assim como realizaram experiências com ímanes e limalha de ferro para introduzir o conceito de campo magnético. Nas turmas do 9º ano da Escola Secundária Dr. José Afonso o professor, com a ajuda dos alunos, construiu um electroíman. Relativamente ao 11º ano, na altura em que foram realizados os testes, os alunos não tinham efectuado ainda qualquer actividade experimental. Na Escola Secundária Fernando Namora foram realizadas actividades experimentais relacionadas com o tema em estudo nos três níveis de ensino investigados.

5. 2 Análise e Interpretação de Resultados

7º Ano

O questionário aplicado ao **7º ano** é constituído por seis questões. Uma questão é de escolha múltipla onde o aluno selecciona a resposta correcta colocando uma cruz no respectivo quadrado, sendo as restantes cinco questões abertas, possibilitando ao aluno responder de acordo com os seus conhecimentos. As questões 1 a 3 exploram as interacções entre ímanes e entre ímanes e outros objectos, com o objectivo de verificarem a atracção e repulsão, como forças à distância e detectarem o magnetismo em materiais de ferro. As questões abertas que vão da 4 à 6 pretendem detectar os conhecimentos de electromagnetismo relacionados com o nosso quotidiano.

Inquérito – 7º ano



Escola Secundária Dr. José Afonso

Nome: _____ Nº _____ Turma: _____

Ciências Físico - Químicas

7º ANO



Teste Diagnóstico
Assunto: Magnetismo

INSTRUÇÕES:

- Responde o melhor que souberes, não te preocupes com o tempo
- Quando não souberes a resposta a uma das questões passa à seguinte e tenta mais tarde.

1 – Se aproximarmos um íman de outro íman como indica a figura, o que achas que acontece? Selecciona entre as hipóteses seguintes, a que melhor descreve o que acontecerá.



- ☐ O pólo norte afasta-se do pólo sul;
- ☐ O pólo norte atrai o pólo sul;
- ☐ O pólo norte afasta-se do pólo norte;
- ☐ O pólo sul atrai o pólo sul.

2 – Já ouviste dizer que a Terra se comporta como um íman gigante. Indica uma forma de verificares este comportamento.

3 – Considera quatro objectos de materiais diferentes colocados sobre uma mesa: um prego de ferro, um clipe, um cubo de madeira, um berlinde de vidro.

3.1. O que sucederá a cada um deles quando aproximarmos um íman?

3.2. Por que razão alguns destes objectos são atraídas pelo íman e outros não?

3.3. – De que forma poderias verificar se um corpo é constituído por uma substância magnética?

4 – Já ouviste falar em Campo Eléctrico? Dá um exemplo de uma situação real onde isso aconteceu.

5 -Já ouviste falar em Campo Magnético? Dá um exemplo de uma situação real onde isso aconteceu.

6 – Dá exemplos de aparelhos que usas no dia-a-dia em que o magnetismo é utilizado?

FIM

Análise dos Inquéritos

1. Escola Fernando Namora

Questões	Estatística	Exemplos de respostas dos alunos/questão
1	Correctas: 12 (48%) Incorrectas: 13 (52%)	
2	Respondem: 18 (72%) Não respondem: 7 (28%)	<ul style="list-style-type: none"> - Por causa da sua força - Forças gravíticas - Terra como íman - Gira à volta do sol - Se a Terra não fosse um íman, tudo caía - A Terra atrai todos os corpos para o centro
3.1	Correctas: 18 (72%) Incorrectas: 6 (24%) Não respondem: 1 (4%)	<ul style="list-style-type: none"> - Os de metal são atraídos
3.2	Responderam: 24 (92%) Não respondeu: 1 (8%)	<ul style="list-style-type: none"> - Os objectos têm energia e força - Têm ferro, substâncias magnéticas - São de metal - Íman só atrai ferro - Magnetismo - Tem a ver com a massa e com uma substância magnética - Força magnética libertada pelo íman - Não têm força para se atraírem
3.3	Não respondem: 8 (32%) Respondem: 17 (68%)	<ul style="list-style-type: none"> - Com um íman - Pelo movimento do corpo
4	Respondem: 15 (60%) Não respondem: 8 (32%) Não ouviram falar: 2 (8%)	<ul style="list-style-type: none"> - Pilha, Central, Linhas Férreas, Metro, Ligar a TV, Telemóvel
5	Respondem: 15 (60%) Não respondem: 7 (28%) N/ouviram falar: 3 (12%)	<ul style="list-style-type: none"> - Terra, Pilha, MP4, íman, Linhas férreas
6	Respondem: 25 (100%)	<ul style="list-style-type: none"> - Frigorífico, aquecedor, TV, MP3, Rádio, bússola, clipe

2. Escola Dr. José Afonso

Questões	Estatística	Exemplos de respostas dos alunos/questão
1	Correctas: 54 (77%) Incorrectas: 16 (23%)	
2	Respondem:39 (56%) N/respondem:21 (30%) Inconclusivo:10 (14%)	<ul style="list-style-type: none"> - Terra com gravidade elevada - Terra formada por 2 pólos norte e sul e pólos contrários Atraem-se - A Terra atrai os restantes corpos celestes - Com a Bússola - A Lua anda à volta da Terra - Magnetismo da lua - Força gravitacional - Ferro líquido na sua constituição (CN) - Pólos geográficos e pólos magnéticos
3.1	Correctas:50 (71%) Incorrectas:17 (24%) Não respondem:3 (5%)	
3.2	Respondem:65 (93%) Não respondem: 5 (7%)	<ul style="list-style-type: none"> - Substâncias magnéticas - Têm Ferro e Aço - Pólos diferentes - Força magnética
3.3	Respondem:43 (61%) N/respondem:27 (39%)	<ul style="list-style-type: none"> - Usando um íman - Usando uma bússola
4	Respondem:10 (15%) N/respondem: 50 (71%) N/ ouviu falar:10 (14%)	<ul style="list-style-type: none"> - Curto-circuito - Choque eléctrico - Postes de Electricidade - Carrinhos de choque - Comboio/ redes de protecção
5	Respondem:13 (26%) N/ respondem:42 (60%) N/ ouviu falar: 15 (14%)	<ul style="list-style-type: none"> - Pólo norte de 1 íman com o pólo sul do outro - Área à volta do íman atrai os corpos de ferro e de aço próximos. - Quando se aproxima um íman do frigorífico - Limalha de ferro e íman - Linha do comboio/ TAC
6	Respondem:45 (64%) N/ respondem:25 (36%)	<ul style="list-style-type: none"> - Íman dos frigoríficos - Bússola/ TGV/microondas, rádio, cartão da escola, MP4, telemóvel

3. Colégio Atlântico

Questões	Estatística	Exemplos de respostas dos alunos/questão
1	Correctas: 18 (95%) Incorrectas: 1 (5%)	
2	Respondem:12 (63%) N/ respondem: 7 (37%)	<ul style="list-style-type: none"> - Grande quantidade de ferro líquido - Está 'segura' no Universo - A Terra atrai todos os corpos para o centro - Atrai a Lua - Existe gravidade - O sol atrai os planetas como se fosse um íman
3.1	Correctas: 17 (89%) Incorrectas: 2 (11%)	
3.2	Respondem:17 (89%) N/ respondem: 2 (11%)	<ul style="list-style-type: none"> - São constituídos por substâncias metálicas - Constituídos por substâncias magnéticas - Constituído por ferro
3.3	Respondem:12 (63%) N/ respondem: 7 (37%)	- Com um íman
4	Respondem:6 (32%) N/respondem: 13 (68%)	<ul style="list-style-type: none"> - Museu da Electricidade - Choque Eléctrico
5	Respondem:7 (37%) N/respondem: 12 (63%)	<ul style="list-style-type: none"> - Museu da Electricidade - Centro da Terra - Ímanes
6	Respondem:15 (79%) N/ respondem: 4 (21%)	- Bússola, Íman dos frigoríficos, fechos das malas

Conclusões – 7º ano

Questão 1

Quase todos os alunos referiram que o pólo norte de um íman atrai o pólo sul do outro íman.

Questão 2

O conjunto de respostas obtidas, não se relaciona com o que foi solicitado “uma forma de verificar o comportamento da Terra como um íman”. Os alunos justificam o facto de a Terra ser considerada um íman gigante e aí verifica-se que estão familiarizados com os conceitos de atracção, gravidade, magnetismo, pólos magnéticos, pólos geográficos e com a bússola. Somente uma minoria respondeu à

questão, referindo que poderia utilizar a bússola. Confundem atracção com força, mas sabem que é uma força à distância, então não há contacto entre os corpos.

Questão 3

Nesta questão há alguma confusão entre os conceitos de força e energia, propriedades magnéticas e metais. Muitos dos alunos referem que todas as substâncias metálicas são atraídas pelo íman e argumentam que são atraídos pelo íman porque este é formado por '*ferro*', '*substâncias magnéticas*', '*substâncias metálicas*' ou '*têm pólos diferentes*'. Consideram que todos os metais são ferromagnéticos. É normal esta constatação, muitos adultos também ainda têm esta ideia enraizada. Este modelo é interiorizado pelos alunos tendo em conta as suas vivências, pois o metal mais vulgar é o ferro, daí que associam aos metais em geral e também não sabem que o aço é constituído por ferro e que é uma liga metálica. Quando se solicita de que forma se pode verificar se um corpo é constituído por uma substância magnética, mais de metade dos alunos associam a bússola e o íman.

Questões 4 e 5

A percentagem baixa de alunos que responderam a este grupo de questões, mostra uma quase total falta de conhecimento sobre o que são os campos eléctricos e magnéticos. A maior parte dos alunos não estão familiarizados com estes conceitos, daí o referirem que nunca ouviram falar. O reduzido número que responde associam-nos ao choque eléctrico, postes de electricidade, linhas-férreas, meios de transporte, o Metro e ímanes. Estas respostas estão relacionadas como o que os alunos têm ouvido ultimamente, nos meios de comunicação em Portugal, a problemática das linhas de Alta Tensão e os comboios de alta velocidade (em algumas cidades, há comboios a funcionar por Levitação magnética). Verificou-se que existem reduzidos conhecimentos prévios numa grande parte dos alunos.

Questão 6

Relativamente aos aparelhos que utilizamos no dia-a-dia a que se associa o electromagnetismo, dão como exemplos os electrodomésticos, os ímanes que se prendem no frigorífico, os telemóveis, MP4, etc. A julgar por algumas respostas, têm algumas noções, mas muito vagas, continua a existir confusão entre fenómenos eléctricos e magnéticos.

9º Ano

O questionário elaborado para o **9º ano** é constituído por oito questões, distribuídas do seguinte modo: nas questões 1, 2, 3, 4 e 5 pretende-se verificar as concepções alternativas sobre as interacções entre ímanes e entre ímanes e outros objectos. As questões abertas 6 e 7 pretendem detectar os conhecimentos de magnetismo relacionados com o quotidiano. Por último a questão 8 tem como objectivo verificar a se os alunos interiorizaram a ideia da relação da electricidade com o magnetismo.

Questionário – 9º Ano



Escola Secundária Dr. José Afonso

Nome: _____ Nº _____ Turma: _____

Ciências Físico - Químicas

9º ANO



INSTRUÇÕES:

Teste Diagnóstico

Assunto: Electromagnetismo

- 🦾 Responde o melhor que souberes, não te preocupes com o tempo.
- 🦾 Quando não souberes a resposta a uma das questões passa à seguinte e tenta mais tarde.

1 – Selecciona entre os materiais referidos os que podem ser atraídos por um íman.

- ☐ A – Um clipe de aço ☐ D – Uma moeda ☐ C – Um prego de ferro
- ☐ B – Uma tira de plástico ☐ E – Lã ☐ F – Um pedaço de madeira

2 – Explica por que razão o íman consegue atrair alguns objectos sem ter de tocar neles.

3 – Supõe agora que tens dois ímanes. Descreve uma maneira de decidir qual deles é o mais forte.

4 – Imagina agora que colocamos uma cartolina sobre um íman e sobre esta espalhamos limalha de ferro. O que esperas que aconteça? Explica porquê.

5 - Dois ímanes em forma de barra estão colocados sobre uma mesa. Descreve o que acontece em cada em cada situação (A e B):



Situação A



Situação B

6 - Já ouviste falar em Campo Eléctrico? Dá um exemplo de uma situação real onde isso aconteceu.

7 - Já ouviste falar em Campo Magnético? Dá um exemplo de uma situação real onde isso aconteceu.



8 - Considera a figura ao lado, que representa uma pilha, um interruptor, um conjunto de cliques e um parafuso ligados por fios eléctricos.

8.1. - Explica por que razão o parafuso atrai os cliques?

8.2 - Qual seria o efeito sobre os cliques se em vez de uma pilha usasses duas pilhas em série?

FIM

Análise dos Inquéritos

1. Escola Fernando Namora

Questões	Estatística	Exemplos de respostas dos alunos/questão
1	Correctas: 25 (96%) N/respondeu: 1 (4%)	- <i>Depende da constituição da moeda</i>
2	Respondem: 22 (85%) N/respondem: 4 (15%)	- <i>Electromagnetismo e força de atracção</i> - <i>Propriedades magnéticas</i> - <i>Íman constituído por magnésio e tem - características magnéticas</i> - <i>Campo magnético</i> - <i>Campo electromagnético</i> - <i>Magnetismo</i> - <i>Força magnética</i> - <i>Pólos diferentes</i>
3	Respondem: 18 (69%) N/respondem: 8 (31%)	- <i>O que tem mais força de atracção atrai com mais velocidade. O que atrai maior nº de objectos</i> - <i>Utilizando uma bobina</i> - <i>Dois ímanes repelem-se, o que empurrar o outro para mais longe será o mais forte</i>
4	Respondem: 23 (88%) N/respondem: 3 (12%)	- <i>As limalhas de Ferro ficam em pé devido à força magnética</i> - <i>O íman actua sobre a limalha de Ferro, espalhando-a</i> - <i>As limalhas vão desenhar as linhas de força do íman</i> - <i>O campo magnético atrai a limalha</i> - <i>As limalhas concentram-se nos pólos, onde o magnetismo é mais forte</i> - <i>A limalha de ferro fica agarrada à cartolina e onde o magnetismo é mais forte, esta está mais concentrada</i>
5	Correctas: 26 (100%)	- <i>Juntam-se/afastam-se</i> - <i>Atraem-se/repelem-se</i>
6	Ouviram falar: 10 (38%) N/ouviram falar: 2 (8%) N/respondem: 14 (54%)	- <i>Bússola desorientou-se com muitos ímanes perto</i> - <i>Bobina/pregos</i> - <i>Dois fios ligados a um parafuso</i> - <i>Quando se acende uma lâmpada</i> - <i>Ligação de uma ficha a uma tomada eléctrica</i> - <i>Postes de alta tensão, Bombas de gasolina</i>
7	Respondem: 12 (46%) N/ouviram falar: 2 (8%) N/respondem: 12 (46%)	- <i>Limalha de Ferro</i> - <i>Íman/clipes e bússola</i> - <i>Lanterna de manivela</i> - <i>Centrais hidroeléctricas</i> - <i>Bobina/prego</i>
8.1		- <i>Campo eléctrico/campo magnético</i>

	Respondem: 22 (85%) N/respondem: 4 (15%)	<ul style="list-style-type: none"> - O parafuso ganha poderes magnéticos - Está magnetizado - Está ligado a uma fonte eléctrica - Criou um íman temporário - Energia produzida pela pilha - Transforma o parafuso num electroíman – efeito magnético da corrente eléctrica
8.2	Respondem: 21 (81%) N/respondem: 5 (19%)	<ul style="list-style-type: none"> - Atraídos com mais força, o campo eléctrico seria maior - Parafuso atrairia mais cliques - Efeito magnético mais intenso - Atraia mais cliques, porque a intensidade da corrente seria maior

2 Escola Dr. José Afonso

Questões	Estatística	Exemplos de respostas dos alunos/questão
1	Correctas: 56 (100%)	
2	Respondem: 49 (87,5%) N/respondem: 6 (12,5%)	<ul style="list-style-type: none"> - O íman forma um campo magnético e através dele atrai objectos metálicos ou tudo o que seja magnético - Por causa do campo magnético que é a região onde se fazem sentir as acções ou forças magnéticas - Reacção magnética, atracção magnética
3	Respondem: 46 (82%) N/respondem: 10 (18%)	<ul style="list-style-type: none"> - Vendo qual deles atrai mais cliques - O íman atrai com maior velocidade o outro íman - O íman que mais cliques atrai, é o mais forte - Um íman maior com limalha de ferro ou bússola, o que puxar com maior intensidade é o mais forte - Têm materiais que lhe conferem essas características.
4	Respondem: 50 (89%) N/respondem: 6(11%)	<ul style="list-style-type: none"> - A limalha de ferro espalhar-se-á, ficando visível o campo magnético do íman - Desenho do campo magnético desse íman - Criam-se linhas de campo magnético, o íman vai atrair as limalhas de ferro orientando-as segundo linhas. - A limalha de ferro junta-se ao íman - A limalha de ferro é atraída pelo íman - Os ímanes atraem o ferro - A limalha de Ferro é atraída pelos pólos do íman, formando um campo magnético - A limalha vai fazer a forma de linhas devido ao magnetismo - O papel impede que as limalhas sejam atraídas

5	Correctas: 52 (93%) Incorrectas: 3 (5%) N/respondem: 1 (2%)	
6	Respondem: 21 (38%) N/respondem: 35 (62%)	<ul style="list-style-type: none"> - Parafusos/Pilhas/clipes - Ligar a ficha dos electrodomésticos à tomada Central eléctrica, Computador, Bobina - Electroíman - Quando se liga a TV
7	Respondem: 29 (52%) N/respondem: 27 (48%)	<ul style="list-style-type: none"> - Clipe atraído por um íman - Campo magnético da Terra - Linhas de campo formadas pela limalha de ferro e um íman - Desvio da agulha magnética quando passa corrente eléctrica
8.1	Respondem: 52 (93%) N/respondem: 4 (7%)	<ul style="list-style-type: none"> - A corrente está ligada, o que faz com que o parafuso se torne magnético. - O parafuso atrai os cliques porque a corrente eléctrica transforma-o num íman - Devido à intensidade da corrente - O parafuso atrai os cliques porque está ligado à corrente eléctrica - O parafuso atrai os cliques porque tem um campo eléctrico em seu redor - O parafuso está magnetizado - Criou-se um electroíman - Criou-se um íman temporário
8.2	Respondem: 51 (91%) N/respondem: 5 (9%)	<ul style="list-style-type: none"> - Atrai mais cliques - A força magnética aumenta, maior o nº de cliques. - Cliques "colam" com mais força - A intensidade da corrente seria maior - Efeito electromagnético

CONCLUSÕES 9º ANO

Questão 1

Grande parte dos alunos, acertam nesta questão, a dúvida surgiu na constituição da liga metálica da moeda. No 9º ano, os alunos já sabem que nem todos os materiais metálicos são atraídos pelo íman.

Questão 2

A maior parte dos alunos responde a esta questão, há mesmo alguns que referem que o íman forma à sua volta um campo magnético/electromagnético, tem propriedades magnéticas, tem atracção magnética, pólos diferentes, etc. Aqui está um conceito alternativo, o que os alunos visualizam não é o Campo Magnético, mas as linhas de campo. Nesta fase, alguns dos alunos chegam mesmo a aplicar a definição

de campo magnético, o que não quer dizer que o tenham aprendido significativamente, na minha opinião tratou-se de uma aprendizagem mecânica.

Questão 3

Esta questão foi respondida em média por 75% dos alunos em ambas as escolas. Os alunos souberam relacionar as forças de atracção com uma velocidade maior e com o número de cliques a ser atraído. Percebe-se o que querem dizer, o conhecimento encontra-se, não totalmente correcto, pois deveriam ter utilizado aceleração em vez de velocidade (2ª Lei de Newton).

Questões 4

Como a maior parte dos alunos visualizou esta actividade em sala de aula, conseguiram responder com maior ou menor facilidade a esta questão. Verificou-se no entanto que a grande dificuldade está na substituição dos termos utilizados no dia-a-dia pela linguagem científica. Muitos alunos afirmam que visualizaram o campo magnético em vez de referirem linhas de campo. Mas o conhecimento sobre este assunto parece estar consolidado.

Questão 5

Não existiu qualquer dificuldade em responder a esta questão, só em alguns casos pontuais. Sabem os conceitos de atracção e repulsão e relacionam correctamente com os pólos diferentes e iguais do íman, respectivamente.

Questões 6 e 7

Comparando com os resultados do 7º ano, regista-se uma melhoria considerável nos resultados obtidos, nomeadamente no que diz respeito ao Campo Magnético, tendo ultrapassado em muito os 50 %. Na questão do campo eléctrico continuam a evidenciar inexistência de conhecimento.

Para estes resultados contribuíram em muito a realização de actividades experimentais, em que os alunos contactaram com diversos tipos de materiais, visualizando com o auxílio da limalha de ferro as linhas de força formadas em redor de um íman, formando um campo "real". Daí que tenham registado como exemplos de campos magnéticos, o íman e a limalha ferro, o desvio da agulha quando passa a corrente eléctrica, um clipe atraído por um íman. Situações essas que foram observadas em sala de aula.

Questão 8

Esta questão relativa à formação de um íman temporário teve como objectivo perceber se os alunos entenderam que se pode criar momentaneamente ímanes artificiais, da relação entre a corrente eléctrica e o magnetismo. Em ambas as escolas os resultados foram bastante satisfatórios, mais de 80 % dos alunos responderam e a justificação apresentada pode nalguns casos não ser a mais correcta, dado os termos aplicados. Conseguiram entender que a magnetização não foi conseguida por fricção do prego num íman, mas sim através da corrente eléctrica e são estes ímanes que se utilizam nos aparelhos eléctricos. É dos conceitos mais acessíveis em Electromagnetismo.

11º Ano

O questionário aplicado ao **11º ano** é constituído por cinco questões, a primeira e segunda questão são abertas e as restantes são de escolha múltipla. A questão 1 pretende verificar as concepções dos alunos sobre a origem do campo magnético, assim como a noção que uma carga em repouso não cria campo magnético. A questão 2 verifica os conceitos dos alunos quanto ao íman como fonte de campo magnético e interacções entre ímanes e entre ímanes e outros objectos. A questão 3 tem como objectivo perceber se o aluno sabe caracterizar o vector campo magnético, quando a origem do campo magnético é um íman rectangular. A questão 4 pretende verificar as dificuldades na compreensão da definição operativa de campo magnético, em presença de um fio condutor onde passa corrente eléctrica de baixo para cima e pede para indicar a direcção e sentido do campo magnético em dois pontos. A questão 5 está relacionada com a Indução magnética, nomeadamente com o sentido da corrente induzida quando um íman se movimenta de uma bobina a uma velocidade constante. Por fim a questão 6, subdividida em quatro alíneas, está relacionada com os factores que influenciam o fluxo magnético através de uma bobina. A primeira compara a variação do fluxo magnético no caso do campo magnético duplicar; a segunda compara a variação de fluxo, se a área da bobina for o dobro; a terceira no caso do nº de espiras duplicar; na quarta pede-se aos alunos para indicar a expressão matemática que utilizou para responder às questões anteriores.

Questionário-11º Ano



Escola Secundária Dr. José Afonso

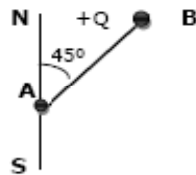
Nome: _____ Nº _____ Turma: _____

INSTRUÇÕES:

Teste Diagnóstico: Física A - 11º Ano
Assunto: Electromagnetismo

- Responda o melhor que souber.
- Quando não souber a resposta a uma das questões, passe à seguinte e tente mais tarde

1 - A linha descontínua na figura representa a direcção do campo magnético terrestre. No ponto A foi colocado uma bússola e no ponto B, encontra-se uma partícula em repouso carregada com carga positiva Q.



- 1.1 - Trace na figura, no ponto A, uma seta que represente a orientação da agulha da bússola.
- 1.2 - Explique as razões da sua resposta

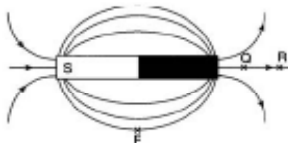
2 - Uma pequena amostra de diferentes materiais (prago de ferro, clipe de aço, cubo de madeira, rolha de borracha e mola de plástico) são colocados sobre uma mesa.

2.1 - O que sucederá aos referidos objectos quando se aproxima um íman?

2.2 - Por que razão alguns desses objectos são atraídos pelo íman?

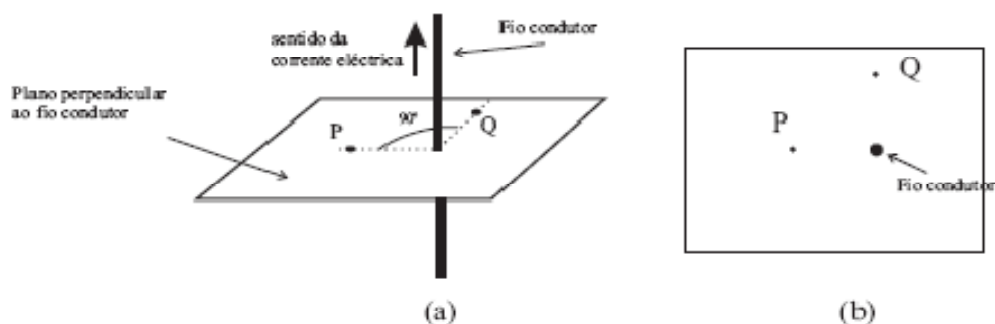
2.3 - Explique por que razão o íman tem este tipo de comportamento?

3 - Sobre um íman é colocada uma placa de vidro que é polvilhada com limalha de ferro, a qual se distribui formando um espectro magnético. A figura seguinte mostra o íman, estando assinalados os pólos magnéticos, algumas linhas de campo, segundo as quais se orientam as partículas da limalha de ferro, e três pontos, P, Q e R. Seleccione a alternativa correcta:



- (A) O campo magnético no ponto P tem direcção tangente à linha de campo que passa por P e o sentido de S para N;
- (B) O campo magnético no ponto P tem direcção tangente à linha de campo que passa por P e o sentido de N para S;
- (C) O campo magnético no ponto P tem direcção perpendicular à linha de campo que passa por P e sentido de P para o íman;
- (D) O campo magnético no ponto P tem direcção perpendicular à linha de campo que passa por P e o sentido do íman para P.

4 – O diagrama seguinte mostra uma placa de cartão colocada perpendicularmente a um fio condutor rectilíneo. A corrente eléctrica que percorre o condutor dirige-se para nós (ou seja, está dirigida de baixo para cima). Os pontos P e Q estão à mesma distância do condutor.



Quais são a direcção e o sentido do campo magnético nos pontos P e Q no plano perpendicular ao fio condutor (figura (b)). Selecciona a alternativa correcta.

Direcção e Sentido do
Campo Magnético em P

Direcção e Sentido do
Campo Magnético em Q

☐

☐

☐

☐

☐

de cima para baixo

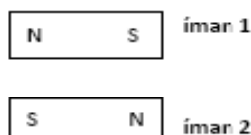
de cima para baixo

☐

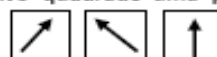
de baixo para cima

de baixo para cima

5 – O esquema seguinte mostra dois ímanes iguais e uma bobina ligada a um galvanómetro. Considere o íman 1 a mover-se no interior da bobina a uma velocidade constante, o sentido da corrente induzida é indicada pela agulha do galvanómetro que se desloca para a esquerda.



5.1 – Responda às questões seguintes colocando no respectivo quadrado uma posição possível da agulha no galvanómetro, representado pelas setas



e tendo em atenção à posição do íman:

- a) Qual a posição possível da agulha do galvanómetro, quando o íman 1 se encontra em repouso?
- b) Qual a posição possível da agulha do galvanómetro, quando o íman 1 sai da bobina a velocidade constante?
- c) Qual a posição possível da agulha do galvanómetro, quando o íman 2 entra na bobina a velocidade constante?
- d) Qual a posição possível da agulha do galvanómetro, quando o íman 2 sai da bobina a velocidade constante?

6 – Responda às seguintes questões, colocando em cada quadrado as letras P, Q, R, S ou T, correspondentes à seguinte chave:

P – Quatro vezes maior Q – Duas vezes maior R – Não há alteração

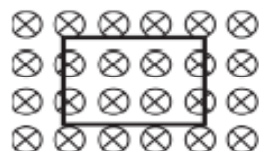
S – Reduz-se a metade T – Reduz-se a um quarto

- (a) Duas bobinas iguais são submetidas a dois campos magnéticos uniformes diferentes. A intensidade do campo magnético 1 é o dobro da intensidade do campo magnético 2. O sentido das linhas de campo magnético é de cima para baixo.

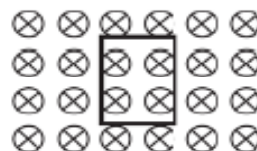


Compare o fluxo magnético que atravessa a bobina 1 com o que atravessa a bobina 2

- (b) Duas bobinas com o mesmo número de espiras são submetidas a dois campos magnéticos uniformes iguais. A área da bobina 3 é o dobro da área da bobina 4. O sentido das linhas de campo magnético é de cima para baixo.



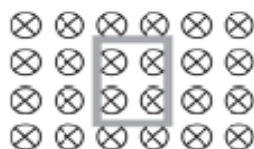
Bobina 3



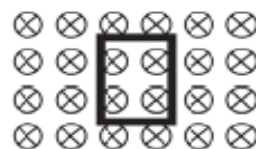
Bobina 4

Compare o fluxo magnético que atravessa a bobina 3 com o que atravessa a bobina 4.

- (c) Duas bobinas com a mesma área são submetidas a dois campos magnéticos uniformes iguais. O número de espiras da bobina 5 é o dobro do número de espiras da bobina 6. O sentido das linhas de campo magnético é de cima para baixo.



Bobina 5



Bobina 6

Compare o fluxo magnético que atravessa a bobina 5 com o que atravessa a bobina 6.

- (d) Indique a expressão matemática que utilizou para responder às questões anteriores.

$\Phi = BA$

$\Phi = NBA$

$\Phi = Bqv$

$\Phi = BI\ell$

FIM

Análise dos Inquéritos

11º Ano – Escola Secundária Fernando Namora

Questão 1 (duas alíneas)

Somente 30% dos alunos orienta a agulha da bússola para Norte, mas parecem não saber que é devido ao campo magnético Terrestre, pois não respondem à questão seguinte. Os alunos que justificaram não conseguem diferenciar campo magnético do campo eléctrico, um dos alunos menciona *“que é o fluxo magnético que faz com que a agulha da bússola se oriente para Norte”*. A ligação que fazem, deve ser do tipo “Se o campo eléctrico é criado por cargas eléctricas, então também o campo magnético deve ser criado por cargas magnéticas, mas não existem cargas magnéticas”.

Nenhum referiu que uma carga eléctrica em repouso não cria campo magnético, aliás muitos orientaram a agulha para a carga eléctrica.

Fontes de Campo magnético	Ímanes e correntes eléctricas
Fontes de campo Eléctrico	Cargas eléctricas e campos magnéticos com fluxo magnético variável

Questão 2 (três alíneas)

A maior parte refere que o clipe e o prego de ferro são atraídos pelo íman, mas alguns dos alunos referem somente os de metal e um outro ainda diz que os restantes materiais são repelidos. Relativamente à 2.1 existem respostas do tipo *“são metais e têm cargas eléctricas”, “devido a forças atractivas”, “porque têm metal, ferro na sua constituição e exercem força sobre eles”, “São bons condutores e possuem pólos positivo e negativo”. “A carga desses objectos é contrária à do íman”, “exercem força magnética sobre os metais”*. Na questão 2.3, *“Têm magnetismo”, “cargas electromagnéticas positivas e negativas”, “magnetismo que tem a capacidade de atrair corpos metálicos”, “campo*

magnético”, “duas polaridades”, “carga oposta ao material metálico”. A maioria não conseguiu justificar correctamente esta questão.

Questão 3 – Caracterização do vector campo magnético

Nesta questão, 45% dos alunos responderam correctamente, dos restantes 55%, 72% responderam A e 28%, C. Conclui-se que grande parte dos alunos sabem que o vector campo magnético tem a direcção tangente à linha de campo, mas continuam a trocar o sentido. Mantêm-se as dificuldades em distinguir sentido e direcção de um vector.

Questão 4 – Campo magnético criado pela passagem da corrente eléctrica num condutor

Esta questão foi a que obteve um nível de insucesso mais elevado entre os alunos. Neste conjunto de alunos nenhum conseguiu acertar, um nem sequer respondeu. A resposta que deram em maior número foi a última, o sentido do campo magnético é de baixo para cima. Reflecte o fraco poder de abstracção que os alunos possuem neste tipo de questão e o ‘desastre’ que é quando se pretende que o aluno interprete determinado fenómeno descrito a duas dimensões.

Questão 5 - Indução magnética e Lei de Faraday (4 alíneas)

Percentagem de respostas correctas:

- | | |
|--------|--------|
| a) 90% | c) 70% |
| b) 60% | d) 70% |

Conclui-se que os alunos entenderam e perceberam na sua maioria a indução electromagnética, para isso contribuiu a realização de Actividades Experimentais.

Questão 6 – Fluxo magnético (4 alíneas)

Percentagem de respostas correctas:

- | | |
|--------|--------|
| a) 70% | c) 60% |
| b) 35% | d) 45% |

Nesta questão é fundamental saber relacionar as grandezas intensidade de campo magnético, nº de espiras e área da espira para conseguir responder às alíneas a), b) e c). O tratamento matemático é essencial.

11º Ano – Escola Secundária Dr. José Afonso

Questão 1 (duas alíneas)

Sendo a amostra de 33 alunos, 33% acertaram, 45% responderam incorrectamente e os restantes 22% não responderam. A justificação apresentada mostra que existe confusão entre pólo positivo e carga eléctrica positiva. Verifica-se que não entenderam que uma carga pontual em repouso não cria campo magnético ou então esqueceram-se de referir e confundem campos eléctricos com campos magnéticos. Registam-se a seguir algumas das respostas dos alunos: *“Porque aponta para a partícula de carga eléctrica positiva”; “O norte geográfico corresponde ao sul magnético”; “as cargas positivas têm linhas de campo para fora da sua origem”; “partícula em repouso vai interferir com a bússola, apresenta campo magnético positivo perpendicular à carga Q ”; Aponta para norte, mas existe uma carga eléctrica, logo é desviada”*

Questão 2 (três alíneas)

Verifica-se que a maior parte dos alunos (94%) tem a noção que os objectos de ferro e de aço possuem propriedades magnéticas, pois referem que são atraídos pelo íman. Mas quando se pede justificação para este facto verifica-se imediatamente que pensam que todos os metais têm propriedades magnéticas, confundido este conceito com o da condutibilidade térmica e eléctrica. Na alínea 2.1, 48% dos visados respondem que contêm ferro e aço

na sua composição, os restantes: *“Força magnética gerada pelo campo magnético do íman”*; *“são atraídos pelo pólo inverso do íman”*; *“atração entre os campos magnéticos dos materiais”*; *“devido ao magnetismo”*; *“porque têm pólos opostos”*. Na alínea 2.2: *“ o íman tem dois pólos, o norte e o sul que atraem”*; *“porque têm carga eléctrica e pólos positivos e negativos”*; *“porque possuem propriedades magnéticas”*; *“apresentam força magnética”*; *“campo de forças oposto ao dos metais”*; *“Os metais têm cargas eléctricas e os opostos atraem-se”*

Questão 3 – Caracterização do vector campo magnético

43% dos alunos acertam nesta questão, os que erraram respondem que o sentido é de sul para norte. Têm noção que o vector campo magnético tem a direcção tangente à linha de campo, mas tal como nos alunos da escola anterior, trocam o seu sentido.

Questão 4 – Campo magnético criado pela passagem da corrente eléctrica num condutor

Somente quatro alunos (12%) acertaram nesta questão e um não responde. A maior parte das respostas incorrectas localizam-se na segunda hipótese e na última, onde parece existir confusão com a direcção e sentido da corrente eléctrica. Há dificuldades na visualização desta situação, mesmo a duas dimensões, daí que possa então resultar respostas incorrectas ou então não sabem aplicar na prática a regra da mão direita.

Questão 5 – Indução magnética (quatro alíneas)

Percentagem de respostas correctas:

- | | |
|--------|--------|
| a) 79% | c) 36% |
| b) 42% | d) 15% |

Grande parte dos alunos percebem que se moverem o íman vai variar o campo magnético com o surgimento de uma corrente num circuito próximo, a corrente induzida. Mas quando se solicita a indicação da posição possível da agulha no galvanómetro, a situação complica-se. Poderiam aplicar a Lei

de Lenz, bastante útil para explicar esta situação e que infelizmente não faz parte do programa e a maior parte dos docentes não a referem.

Questão 6 - Fluxo magnético (quatro alíneas)

Percentagem de respostas correctas:

- | | |
|--------|---------|
| a) 18% | c) 18% |
| b) 24% | d) 0,3% |

Perante um número reduzido de respostas correctas, duas situações podem ter ocorrido: o docente pode não ter interpretado o conceito de fluxo magnético, relacionando-o com a intensidade do campo magnético, área da espira e o número de espiras ou então os alunos não assimilaram significativamente este conceito. Na análise realizada ao manual que esta escola adoptou, verificou-se que menciona a expressão e além disso dá um exemplo da sua aplicação (um exercício resolvido e um outro para os alunos resolverem).

Parece-me também que a fonte de algumas ideias alternativas reside no manual escolar e designadamente na maneira como alguns manuais apresentam determinados conceitos. Apresentam a teoria e de seguida aplicam na prática utilizando um exemplo matemático ou seja na linha dos manuais mais antigos.

5. 3 Conclusões Finais

Tabela 5 - Síntese das dificuldades conceptuais e concepções alternativas identificadas nos inquéritos realizados.

Conceitos	Dificuldades Conceptuais	Concepções alternativas: Os alunos ...
Magnetismo	Dificuldades em diferenciar as Forças à distância: Gravíticas e magnéticas.	...confundem magnetismo com gravidade. ...consideram que são ambas forças de atracção.
Substâncias Magnéticas Substâncias magnéticas	Dificuldades em reconhecer que alguns materiais atraem os ímanes, dependendo da sua natureza Não diferenciam Ímanes permanentes de ímanes temporários?	...Consideram que todos os metais são magnéticos. ...pensam que o mediador (espaço entre o íman e o objecto) é algo abstracto que designam por energia e força
Campo Magnético	Reconhecer o Campo magnético em redor de um íman	...têm dificuldades em visualizaram o campo, e perceberem que quando colocam limalha de ferro perto de um íman não é senão o esquema/desenho de um “campo”, campo magnético
Fontes de Campo Magnético	Não entendem que cargas eléctricas em repouso não criam campos magnéticos, só campos eléctricos Perceber que a agulha da bússola está só submetida ao campo magnético terrestre Entender que os campos eléctricos e magnéticos têm a mesma causa: a carga eléctrica.	...pensam que a fonte de campo magnético é a carga eléctrica em repouso. ...têm dificuldades em distinguir interacções eléctricas das magnéticas. ...pensam que “existem cargas magnéticas e cargas eléctricas”.
Definição operativa de campo magnético	Dificuldades de aprendizagem e compreensão da definição operativa de Campo Magnético. Confudem campos eléctricos e campos magnéticos, no que se refere aos seus efeitos. Dificuldades na “visualização” no espaço do vector campo magnético, velocidade das cargas eléctricas, e força magnética (as três grandezas formam três planos)	... têm dificuldades na aplicação da regra da mão direita com o polegar a apontar no sentido da corrente eléctrica. ...não conseguem visualizar no espaço. Confudem direcção com sentido.

Indução electromagnética	Dificuldades de perceber a relação entre um íman em movimento no interior de uma bobina e a possível posição da agulha do galvanómetro.	...têm dificuldades em perceber a relação entre o movimento do íman e a criação de campo magnético e a formação da corrente eléctrica alternada.
--------------------------	---	--

A análise de todas as respostas revelou que muitos dos alunos desconhecem de acordo com o nível de ensino, assuntos como:

- campo eléctrico e magnético;
- aspectos relacionados com materiais magnéticos;
- a necessidade de movimento da carga eléctrica para a criação de campo magnético;
- as condições de existência de força magnética;
- a neutralidade eléctrica do condutor percorrido pela corrente eléctrica;
- a incapacidade da força magnética para produzir variação de energia cinética;

No 9º ano o facto da metodologia de ensino privilegiar o trabalho experimental integrando a teoria, num ambiente construtivista, foi benéfico aos alunos. Deu-se oportunidade de prever, observar, explicar discutir e reflectir, de fazer a ligação dos assuntos estudados na sala de aula com o seu quotidiano e promover a relação professor-aluno. No 7ºano foi tentada uma aproximação semelhante, mas o resultado não foi tão positivo, pois a estrutura mental é diferente. No 11º ano, o facto do programa a leccionar ser demasiado extenso, em conjunto com um ano em que os alunos são submetidos a exame nacional, cria uma série de constrangimentos que não abona em favor do aluno e de um bom ambiente de trabalho. A realização de trabalho experimental é frequentemente colocada de lado, concretizando-se somente as actividades obrigatórias que a meu ver é extremamente redutor e contraproducente. Em vez de beneficiarmos os alunos e promovermos a aprendizagem dita significativa, o tempo prega-nos partidas e os alunos continuam a apresentar conceitos alternativos, alguns bastante resistentes à mudança.

No sentido de minimizar as dificuldades que todos nós, os professores, enfrentamos no nosso dia-a-dia, podem-se utilizar algumas técnicas simples para dar resposta à complexidade da aprendizagem e de alguma forma tentar reduzir os conceitos alternativos:

- Aplicar um teste diagnóstico antes de iniciar uma unidade de ensino;
- Usar os resultados para diagnosticar o que os alunos sabem ou não de modo a planificar aulas adequadas a cada situação;
- Utilizar materiais concretos e manipulativos além dos conhecimentos do dia-a-dia para ajudar os alunos a experimentar fenómenos científicos e incentivar a construção activa de conceitos mais abstractos;
- Colocar um conjunto de questões que vão das mais complicadas às mais simples, abertas ou fechadas para activar o raciocínio dos alunos e colocá-los a pensar;
- Esperar alguns segundos após ter feito uma pergunta antes de a reformular;
- Esperar alguns segundos a seguir à resposta do aluno à questão antes de continuar;
- No caso de alunos do 3º ciclo ter algum cuidado na utilização de conceitos mais abstractos da ciência. No caso de termos que falar neles, utilizar actividades práticas.
- Planificar os conteúdos para além das capacidades individuais dos alunos, mas dentro das capacidades dos grupos de alunos.
- Solicitar aos alunos a construção de mapas de conceitos para revelar as dificuldades conceptuais dos alunos e poder então minimizá-las.
- O “V” de Gowin, sendo um instrumento que permite ajudar os alunos nas tarefas investigativas na sala de aula, no laboratório ou no campo, particularmente nas actividades experimentais também é um bom instrumento que o professor pode e deve utilizar.

6. A História do Electromagnetismo no Ensino da Física

6. 1 História da Ciência

Ao longo das últimas décadas, a investigação no ensino das ciências tem salientado a relevância crescente do papel que a História da Ciência tem desempenhado no ensino e na aprendizagem da Ciência. Este não é um processo simples, tem originado muitas discussões e controvérsias entre cientistas e educadores que possuem pontos de vista diferentes, mas é desta diferença que nasce a luz. Alguns consideram que a História se dissolve nas diversas teorias científicas universalmente aceites e que devemos concentrar-nos em tentar explicar o que ainda não se sabe, outros consideram que é necessário ter conhecimento do passado para percebermos o presente e podermos evoluir para o futuro. Pensamos que o conhecimento da História da Ciência é fundamental para o futuro cidadão e, quem sabe, futuro cientista.

É então neste sentido que se têm verificado algumas tentativas isoladas para introduzir a História no ensino. Verificou-se que nos finais do séc. XIX já alguns professores ingleses incluíam nas suas aulas alguma História da Ciência, acreditando que constituía uma motivação para os seus alunos. Em 1917, essa atitude foi apoiada pela British Association for the Advancement of Science (BAAS) num relatório que defendia a necessidade e a possibilidade de demonstrar, através da História da Ciência, que a ciência é uma actividade humana que pode contribuir para o bem-estar do indivíduo, aproximando a ciência do senso comum. Segundo Leite e Sequeira (1988) e de acordo com o mesmo relatório, existiria um certo paralelismo entre o desenvolvimento intelectual do indivíduo e o progresso histórico da ciência, baseado na existência de três fases de desenvolvimento – a fase do “bonito e do maravilhoso”, a fase da “utilidade” e a fase da “sistematização” que tornaria a ciência mais interessante para todos os alunos de todas as idades. Em Inglaterra, na década de trinta verificava-se a existência de cursos de curta duração para professores de Ciências e alguns graus superiores em História da Ciência mas, apesar do empenho de alguns docentes, somente no final dos anos quarenta a introdução da História da Ciência nas aulas de Ciências sofreu

alterações, com a inserção na Educação Geral em Ciência da “História de Casos da Ciência”. Mas foi nos anos setenta que se registaram as maiores modificações e interesse crescente na utilização da História da Ciência, com o Projecto Física de Harvard elaborado por um conjunto de investigadores³⁴ que consideravam que a História da Ciência era fundamental no currículo das ciências, sobre a sua eficiência, Lewis (1976) refere:

“O curso foi aplicado em escolas de todo o país e os resultados provaram que funcionava. Os professores e os estudantes mostraram-se entusiasmados com o projecto e o número de alunos aumentou em Física. (Projecto Física, 1985) ”

Na década de oitenta em Portugal ainda não se registavam movimentações significativas de modo a incluir a História nos currículos de ciências. Contudo, sabe-se que, nas escolas, os docentes que gostavam de História, utilizavam-na com frequência nas suas aulas, porque acreditavam que podia ajudar os seus alunos, apesar dos programas da altura não referirem aspectos relacionados com a História da Ciência. Actualmente e de acordo com o que os novos currículos preconizam, a situação é diferente:

- Para o 3.º Ciclo, nomeadamente o que diz respeito ao conhecimento epistemológico:

“Propõe-se a análise e debate de relatos de descobertas científicas, nos quais se evidenciem êxitos e fracassos, persistência e modos de trabalho de diferentes cientistas, influências da sociedade sobre a Ciência, possibilitando ao aluno confrontar, por um lado, as explicações científicas com as do senso comum, por outro, a ciência, a arte e a religião” (Currículo Nacional do Ensino Básico, 2003).

- No Ensino Secundário, a disciplina de Física e Química A (2003), tem como objectivos gerais:

³⁴ Gerald Holton e Fletcher Watson da Universidade de Harvard e James Rutherford da Universidade de New York (1970). A edição portuguesa (1985) teve como coordenação geral Odete Valente da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

“ [...] compreender o modo como alguns conceitos físicos [...] se desenvolveram, [...] e conhecer marcos importantes na História da Física [...] A actividade de natureza histórica que se propõe no segundo contexto desta Unidade visa as finalidades gerais de tarefas deste tipo, tendo a particularidade de poder ser ilustrada com demonstrações experimentais que ajudarão a compreender a evolução dos conceitos e a orientação para novas descobertas.” (Currículo Nacional do Ensino Secundário, 2003)

No séc. XXI assiste-se a um interesse renovado na aplicação da História da Ciência no ensino, não se ficando só pelas simples biografias dos grandes Heróis da Física, mas também se tenta integrar num determinado contexto alguma História, fundamentalmente no que diz respeito às grandes experiências da Física. O número de Congressos e Seminários destinados à História da Ciência em geral tem gradualmente aumentado em Portugal, mas é noutros países que ocorrem com maior frequência e onde existem investigadores a trabalhar a tempo inteiro, o que infelizmente quase não acontece no nosso país. Mas escrever sobre a História da Física não é para todos, quem escreve deve ter conhecimentos profundos de Física e, além disso, estar atento às fontes onde pesquisa sobre determinado assunto. Um bom historiador de Ciência procura familiarizar-se tanto com a bibliografia secundária (ou seja, aquilo que outros historiadores da ciência já fizeram antes) como com a bibliografia primária (ou seja, as obras científicas e filosóficas antigas do período estudado). Citando Heisenberg³⁵, *“Um perito é alguém que conhece alguns dos piores erros que podem ser feitos na sua área de formação e sabe como evitá-los”*, em contrapartida, o matemático Charles Babbage³⁶ comentava: *“Os erros cometidos quando se utilizam informações inadequadas são muito menores do que quando não se usa nenhuma”*.

Neste campo de investigações que é o ensino das ciências, o interesse pela História relaciona-se com diversas questões. Existem aspectos teóricos que são trabalhados a partir de elementos com origem na História da Ciência, tais

³⁵ Heisenberg (1901-1976, Alemanha) foi um famoso físico alemão, recebeu o Prémio Nobel da Física em 1932 e foi um dos fundadores da Mecânica Quântica. Heisenberg doutorou-se pela Universidade de Munique, em 1923 e foi o chefe do programa de energia nuclear da Alemanha durante o regime nazi.

³⁶ Charles Babbage³⁶ (1791-1871), contemporâneo de Faraday e mais conhecido pela tentativa de construção de uma máquina que seria a primeira aproximação do futuro computador, “difference machine”.

como: a fundamentação de modelos de ensino e aprendizagem, a mudança conceptual; as críticas às perspectivas colocadas por esses modelos; e o questionamento de bases teóricas do construtivismo.

Sob o ponto de vista mais prático, a História da Ciência pode ser então considerada como um conteúdo das disciplinas científicas, assim como uma estratégia didáctica que terá como objectivo facilitar a compreensão de conceitos, modelos e teorias. Por outro lado, alguns autores consideram que surge como uma necessidade formativa do professor, na medida em que pode contribuir para:

- evitar visões distorcidas sobre o saber científico;
- permitir uma compreensão mais refinada dos diversos aspectos que envolvem o ensino e aprendizagem da Ciência;
- proporcionar uma intervenção mais qualificada na sala de aula.

Outros referem que pode também trazer alguns problemas que podem não ser logo evidentes para o professor, mas a longo prazo podem contribuir para a falsificação da História da Ciência bem como para uma incorrecta imagem desta, do conhecimento científico e dos cientistas. Outros constrangimentos relacionam-se com a gestão do tempo, pois na generalidade os programas são demasiados extensos e há que explorar os conteúdos que irão ser integrados no exame a nível nacional e que não passam pela História da Ciência. Por outro lado, a presença da História da Ciência nas aulas de Física exigirá do professor, além de ser mediador do conhecimento, um outro papel que é o de procurar materiais didácticos que permitam uma História de qualidade, levando-o a consultar manuais desenvolvidos por investigadores que têm profundo conhecimento sobre a área.

Roberto Martins (1990) refere que um bom professor de uma disciplina científica deve combinar uma prática científica (o conteúdo propriamente dito) e uma prática didáctica. A História da Ciência poderia contribuir para a formação de um professor de modo significativo. Ainda segundo o autor, para esse tipo de formação, do ponto de vista didáctico, a História da Ciência pode complementar os aspectos técnicos com uma visão social, cultural e humano.

Ela permite ambientar a sociedade da época em questão; trazer as concepções favoráveis e controversas que surgiram na aceitação de determinada ideia; conhecer a vida dos cientistas e de outros cientistas que contribuíram para o desenvolvimento de uma ideia e que não são mencionados em livros didáticos. No entanto, esses aspectos abordados durante a prática docente devem ser bem fundamentados.

Sob o ponto de vista técnico, a História da Ciência permite entender certos resultados científicos complexos bem como sua evolução. *“Ensinar um resultado sem a sua fundamentação é simplesmente doutrinar e não ensinar ciências”* (Martins, 1990).

Um outro aspecto está relacionado com a divulgação da Ciência, através dos muitos meios de comunicação ao nosso dispor onde é apresentada como *“fabricante de heróis e génios”*, escolhidos ao acaso para descobrirem, inventarem e elaborarem teorias complexas. Esta visão errada da Ciência não dá importância aos factos sociais, políticos, filosóficos e culturais que estão por detrás destas conquistas. Assim a ideia que temos é que a Ciência é uma sucessão linear de ocorrências, como se tivesse um roteiro a ser seguido e como se nada tivesse corrido mal.

Outra situação que deve ser considerada na utilização da História da Ciência no Ensino é a selecção do Manual Escolar. Verificou-se que nalguns dos actuais manuais utilizados na disciplina de Física, as biografias dos grandes cientistas, que foram fundamentais na História da Ciência, já não surgem em caixas nas laterais do manual e integram o texto, exibindo descrições mais ou menos exaustivas das experiências fundamentais que nos tornaram no que somos hoje contextualizando um dado assunto.

Nesta linha de reflexão, há que considerar o facto de muitas vezes o próprio docente nem sempre criticar os conteúdos que ensina, considerando determinado conhecimento científico como algo pronto e instantâneo. Como se de repente aquela ideia ou aquela concepção surgisse na cabeça de alguém que já estava predestinado a isso, não se preocupando com o passado de cada acontecimento. Por exemplo, no caso de Faraday não foi fácil chegar à Indução

Magnética, foram necessários sacrifícios e algumas contrariedades, as experiências não resultavam à primeira, foi preciso muito trabalho e persistência da sua parte de tal modo que após a sua grande descoberta, adoeceu e esteve parado durante meses. Os biógrafos de Faraday referem mesmo que este nunca mais foi o mesmo, adoecendo com frequência. Não podemos esquecer que na época já existia competição entre quem trabalhava em investigação, algumas ideias eram mesmo roubadas por outros investigadores menos honestos que se apropriavam dessas ideias como se tivessem sido criadas por eles.

Na época de Faraday, as investigações em Laboratório não eram realizadas sem qualquer fundamento, estas partiam já de problemas bem definidos. As actividades experimentais estavam associadas ao raciocínio, como já foi referido e Faraday sempre defendeu a utilização de analogias e era ele próprio que construía os seus próprios equipamentos para realização das investigações em laboratório.

É necessário que os nossos alunos compreendam que o caminho percorrido foi muito difícil, Faraday tal como outros cientistas, deparou-se também com muitas dificuldades conceptuais para a criação de conceitos novos. Os alunos terão que entender que nada se faz sem trabalho, para se chegar a um determinado conceito, correcto a nível científico, tal como Faraday o fez, mas no séc. XIX. Há também o outro lado da História da Ciência, a distinção do que realmente aconteceu, de uma possível lenda ou de quem na realidade descobriu. É o caso da descoberta de Oersted, na altura muitos foram os que referiram que Romagnosi (1761-1835) já o tinha feito muito antes, em 1802, mas só publicou as suas conclusões em jornais italianos que não tiveram a devida divulgação no exterior. No caso de Faraday, parece que também Henry mas no outro lado do Atlântico chegou à indução electromagnética, mas Faraday foi quem primeiro a registou, como se faz actualmente com as patentes.

Até há bem pouco tempo verificava-se que os cursos das áreas científicas não integravam conteúdos históricos nas suas disciplinas, nem existia

nenhuma disciplina específica que tratasse este tipo de conteúdo. Hoje em dia a realidade já é bem diferente, a História da Ciência já faz parte da estrutura de alguns cursos existentes nas nossas Universidades, existem mestrados e doutoramentos no âmbito da História e Filosofia das Ciências, mas não garante ainda a inserção desses conhecimentos nas salas de aulas do ensino básico e secundário, tão pouco uma reflexão mais profunda, por parte dos professores do seu papel. É preciso aumentar o nível de reflexão dos professores. Uma das saídas para isso pode ser uma boa formação académica e contínua a fim de saber fundamentar, organizar, actualizar e contextualizar os seus conhecimentos científicos para com seus alunos.

6. 2 Como utilizar estas experiências no ensino

Tendo como suporte, a aprendizagem significativa, a minha proposta é associar à prática de sala de aula a História do Electromagnetismo, de modo a facilitar a aprendizagem dos conceitos visados no estudo que foi realizado, pois a História da Física pode e deve:

- promover a aprendizagem significativa de equações (que estabeleçam relações entre conceitos, ou que traduzam leis e princípios) que o ensino tradicional acaba por transformar em meras expressões matemáticas que servem para resolver problemas;
- ser útil para lidar com a problemática das concepções alternativas;
- mostrar ao aluno que muitas das dificuldades que encontra na compreensão de determinados conceitos e na interpretação de fenómenos, foram também encontradas pelos investigadores do passado, permitindo-lhe descobrir como é que esses investigadores as ultrapassaram;
- aumentar a cultura geral do aluno, admitindo-se, neste caso, que há um valor intrínseco em se compreender certos episódios fundamentais que ocorreram na história do pensamento científico;

- desmistificar o método científico, dando ao aluno os conhecimentos necessários para que ele tenha um melhor entendimento do trabalho do cientista;
- mostrar como o pensamento científico se modifica com o tempo, salientando que as teorias científicas não são definitivas, mas são objecto de constante mudança;

O professor pretende acima de tudo planificar aulas dinâmicas, utilizando recursos diversificados sempre com o objectivo de promover a aprendizagem. Quando se pretende utilizar a história da física no ensino, não é fácil por razões já mencionadas, logo o que se apresenta de seguida não serve de modelo para a prática pedagógica, mas sim algumas ideias que podem vir a ser utilizadas na planificação deste tema ao nível do 9º ano e do 11º ano.

Ao nível do 9º ano

Os alunos poderão contextualizar a época em que Oersted viveu e poderão se possível projectar um trabalho de projecto, escrevendo uma pequena peça de teatro onde reproduzirão a experiência de Oersted, utilizando por exemplo materiais de baixo custo. Nesta altura poderão recorrer a textos de época que incluem as conclusões originais a que este cientista chegou e posteriormente comparar com o que actualmente se sabe sobre o assunto. É importante que os alunos tenham conhecimento das dificuldades que Oersted enfrentou na realização desta experiência no séc. XIX, assim como ter conhecimento que os materiais que Oersted tinha à sua disposição eram diferentes dos que temos actualmente. Por exemplo, Oersted deve ter utilizado uma grande “bateria” de pilhas de Volta para produzir a tensão que utilizamos em sala de aula, por exemplo duas pequenas pilhas de 4,5 V ou um conjunto de pilhas de 1,5 V.

Com este trabalho pode-se enriquecer as aulas de electromagnetismo e ao mesmo tempo os alunos têm oportunidade de visualizar os fenómenos e acompanhar a descrição dos efeitos com as próprias palavras utilizadas por Oersted.

Em aula expositiva pode-se ainda trabalhar o impacto do trabalho de Oersted no mundo científico e a resposta de alguns mecanicistas, tal como Biot e a sua experiência. Como o tempo é limitativo, a ideia é utilizar a Área de Projecto para concretizar estas ideias.

Ao nível do 11º ano.

Torna-se complicado a este nível trabalhar a História da Ciência no espaço-aula, por um lado porque se trata de um ano com exame a nível nacional, por outro lado o tempo é uma variável que limita em muito qualquer ideia que se tenha em utilizar a História do Electromagnetismo no ensino da Física. Além de que os docentes também têm de ser criativos.

Uma das ideias que me surgiu poderá passar por uma apresentação do ambiente científico em que Oersted, Ampère e Faraday viveram, a partir do contexto científico-cultural dos séculos XVIII e XIX. Como a

interdisciplinaridade é fundamental, poderia solicitar-se a ajuda da Filosofia e do Português pois os alunos na área das Ciências e Tecnologia não têm História, nem História de Arte no seu currículo. No 11º ano pode-se tornar complicado a concretização destes projectos, mas no 12º ano, faz parte do seu currículo no âmbito das áreas curriculares não disciplinares, a Área de Projecto e aqui esta área pode ser preponderante. Os alunos poderão trabalhar as grandes experiências do séc. XVIII e XIX, como por exemplo construir uma Garrafa de Leyden, um Motor, um Galvanómetro, uma Máquina Electrostática, um Electroiman. O motor eléctrico é uma boa aposta pois existe em todos os aparelhos eléctricos, como tal é conhecido pelos alunos, podendo possibilitar uma melhor comunicação entre professor e aluno. A construção de equipamentos pelos alunos ajuda-os a perceber as dificuldades provenientes da sua construção e ajuda-os a compreender o trabalho complexo e persistente dos cientistas. Trata-se de um conjunto de tarefas que exigem muito esforço e dedicação e que o que somos e temos actualmente se deve a todos aqueles homens e não surgiram por magia.

Podem ainda representar as sessões ocorridas na Royal Society, montando por exemplo a Experiência de Ampère, de Oersted e de Faraday ou então colocar os alunos a representar cenas em que usem o pensamento científico ou desempenhem papéis de cientistas.

7. Conclusões e Sugestões

Todo o processo de ensino e aprendizagem é complexo, as dinâmicas que se estabelecem na sala de aula também, e não existem soluções “mágicas”, ou completamente eficazes. As tecnologias de informação e comunicação devem ser encaradas apenas como, já se salientou, recursos auxiliares, não tem sentido pensá-las como soluções definitivas ou ainda como substitutas da acção docente. A actividade colaborativa também é um recurso valioso, centrando o processo ensino-aprendizagem no aluno, mas a intervenção do professor continua a ser indispensável. Além disso, é preciso ter sempre presente que a aprendizagem significativa é progressiva e o que devemos

esperar de estratégias de ensino, envolvendo ou não recursos tecnológicos, é que auxiliem esse progresso. Como perspectiva futura, acredito que: a integração de experiências de laboratório, delineadas a partir de uma visão epistemológica contemporânea, com actividades de simulação computacional construídas levando em consideração o aluno; o desenvolvimento de textos de apoio que partam do mais geral e progressivamente vá distinguindo os conceitos, sem nunca se perder de vista os aspectos mais gerais aos quais estes se integram; e também o uso de um conjunto diverso de ferramentas que venham a promover uma reflexão sobre as actividades computacionais realizadas; são os elementos mais promissores a serem delineados em trabalhos futuros à abordagem didáctica aqui apresentada, de modo a aumentar significativamente a diversidade de estratégias e alcançar melhores resultados.

Para facilitar a aprendizagem significativa é necessário rigor científico por parte do professor e dos recursos materiais que utiliza. Porém a competência científica só por si não chega, até porque o aluno, o construtor activo da sua aprendizagem, possui pré-concepções que foram aprendidas significativamente e que constituirão um bloqueio à aprendizagem rigorosa se não for adoptada uma teoria construtivista adequada como é a Teoria da Aprendizagem Significativa, num ambiente construtivista de aprendizagem, com três alicerces fundamentais interactuantes entre si que devem ser privilegiadas: o aluno, o professor e as interacções sociais.

Chega-se então à conclusão que não é suficiente que exista nos currículos universitários a disciplina de História da Ciência, é necessário uma reflexão longa sobre o modo como poderá ser feita a sua aplicação em sala de aula, pois é mais que evidente a sua importância como estratégia didáctica facilitadora na compreensão de conceitos mas a forma como a integramos no processo ensino-aprendizagem parece ser uma tarefa complicada na medida em que muitos professores ainda a consideram como uma simples ilustração de um determinado conceito. Segundo Peduzzi (2001) *"é sem dúvida, a investigação, em condições de sala de aula e com materiais históricos*

apropriados, de boa qualidade, que vai fazer com que exista diálogo e argumentação”.

Estou convencida que o ensino da Física não pode prescindir da História da Física, da Filosofia da Ciência e da sua ligação com outras áreas da cultura, como a Literatura, a Música, Cinema, Teatro, etc.

Por último e partindo de um velho provérbio que diz: “Se deres um peixe, a pessoa tem comida para um dia; se ensinares a pescar, tem comida para uma vida.” Devemos encarar o ensino eficaz da ciência como ensinar os alunos a pescar. Logo que os alunos comecem a compreender e a usar o pensamento científico para aprender mais sobre o mundo que os rodeia, tornam-se pescadores para toda a vida com sede de conhecimento e com as competências de procurar e aprender por si próprios. Sabemos que só alguns conseguem atingir este nível, tornam-se pescadores competentes, outros nunca conseguiram pescar nada, devemos então tentar ter um maior número de pescadores possíveis.

Muito ficou para fazer, nomeadamente no que diz respeito ao trabalho de campo em que os testes diagnóstico funcionaram como pós-testes, ou seja foram aplicados após o processo de ensino-aprendizagem da Unidade “Electromagnetismo”. Gostaria num futuro próximo poder comparar resultados, aplicando testes antes e depois de todo o processo ensino-aprendizagem, para ter oportunidade de poder utilizar os instrumentos metacognitivos ao nosso dispor e outros referidos nesta dissertação. As portas estão abertas e este tipo de trabalho nunca está acabado, o futuro o dirá.

8. Bibliografia

- Ahlgren, A. & Rutherford, J. (1995). *Ciência para Todos*. Lisboa: Gradiva.
- Alís, J. (2005). El Problema de las Concepciones Alternativas en la Actualidad. Análisis sobre las causas que la originan y/o mantienen. *Revista Eureka sobre Enseñanza y divulgación de las Ciencias*, 2 (2), 183-208.
- Alves, E. & Morgado, J. (2008). *Ser com Saber, Terra no Espaço*. Lisboa: Plátano Editora.
- Arends, I. (2005). *Aprender a Ensinar*. Lisboa: McGraw-Hill.
- Assis, A. & Chaib, J. (2006). Experiência de Oersted em sala de aula. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29 (1), 41-51.
- Assis, A. et al (2004). Uma tradução comentada de um texto de Maxwell sobre a acção à distância. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 26 (3), 273-282.
- Assis, A. & Chaib, J. (2007). Distorção da obra electromagnética de Ampère nos livros didácticos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29 (1), 65-70.
- Ausubel, D., Novak, J., Hanesian, H. (1980). *Psicologia Educacional*. Rio de Janeiro: Interamericana.
- Ausubel, D. (2003). *Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma perspectiva cognitiva*. Lisboa: Plátano Editora.
- Bachelard, G. (1991). *A filosofia do não*. Lisboa: Editorial Presença.
- Baigrie, B. (2007). *Electricity and Magnetism, a Historical Perspective*. London: Greenwood Press.
- Batista, I. (2004). O ensino de teorias físicas mediante uma estrutura histórico- filosófica. *Ciência & Educação*, 10 (3), 461-476.
- Barros, H. & Esquivel, D. (2000). Interação do Campo Magnético da Terra com os seres vivos: História da sua Descoberta. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 22 (3), 312-316.
- Bassalo, J. (1998). Nascimentos da Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física* 20, 4, 363-372
- Batista, I. (2004). O Ensino de Teorias Físicas Mediante uma Estrutura Histórico-Filosófica. *Ciência & Educação*. 10, 3, 461-476.
- Beleza, M., Cavaleiro, M. (2008). *FQ Terra no Espaço 9*. Porto: Asa Editores.
- Beleza, M., Cavaleiro, M. (2006). *FQ Terra no Espaço 7*. Porto: Asa Editores.
- Bello, A. e Caldeira, H. (2008). *Ontem e Hoje 11*. Porto: Porto Editora.

Bejarano, N. & Carvalho, A. (2004). A História de Eli. Um Professor de Física no início de Carreira. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 26 (2), 165 – 178.

Bodanis, D. (2005). *Electric Universe, How Electricity Switched on the Modern Word*. New York: Three Rivers Press.

Borvon, G. (1994). De Du Fay à Ampère. Des Deux espèces d'électricité aux deux sens du courant électrique. Un moment de l'Histoire de l'Électricité. *Bulletin de L'Union des Physiciens*, 88, 27-60.

Brown, A., Metz, K. & Campione J. (1996). *Social interaction and individual understanding in a community of learners: The influence of Piaget and Vygotsky*. In A. Tryphon & J. Vonèche (Eds.), *Piaget-Vygotsky: The Social Genesis of Thought* (pp. 145-170). Hove: Psychology Press. Acesso em 5/4/08.

Bruce, P. (2005). The History of Electromagnetic Theory, Thesis. University of Aberdeen.

Caballero, M. et al. (2003). El Aprendizaje del Concepto de Campo en Física: Una Investigación Exploratoria a Luz de la Teoría de Vergnaud. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 25, 4, 399-417.

Caballero, M. et al. (2003). El concepto de campo en el aprendizaje de la física y en la investigación en educación en ciencias. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2 (3),

Cachapuz A. et al. (2000). Perspectivas de ensino das ciências. In Cachapuz A.F. (Org.). *Perspectivas de ensino*. Porto: Centro de Estudos de Educação em Ciência.

Cachapuz, A. (1997). Ensino das Ciências e Mudança Conceptual: Estratégias Inovadoras de Formação de Professores", in *Ensino das Ciências*, Lisboa, IIE, 145-164, 1997.

Caldeira, C. et al. (2006). *Terra no Espaço*, 7º ano. Lisboa: Didáctica Editora.

Canalle, J. e Moura, R. (1997). A Lei de Faraday e a de Lenz. *Cad. Cat. Ens.Física*, 14 (3), 229-201.

Carvalho, R. (2004). *Cadernos de Iniciação Científica*. Lisboa: Relógio de Água.

Carvalho, R. (2007). *Física no Dia-a-Dia*, 2ª edição. Lisboa: Relógio de Água.

Carriche, R. e Veladas, T. (2008). *Energia em Movimento 11º ano*. Lisboa: Santillana.

Cook, M. (2006). Visual Representations in Science Education: The Influence of Prior Knowledge and Cognitive Load Theory on Instructional Design Principles. *Science Education*, 90, 1073-1091.

Cruz, A., Nunes, N. (2006). *Ação (re)ação 7*. Porto: Areal Editores.

Dantas, M., Ramalho, M. (2006). *Terra Mãe 7º ano*. Lisboa: Texto Editores.

Dias, F., Rodrigues, M. (2006). *Física e Química Na Nossa Vida 7*. Porto: Porto Editora.

Dias, F., Rodrigues, M. (2008). *Física e Química Na Nossa Vida Física 9*. Porto: Porto Editora.

Dias, F., Rodrigues, M. (2008). *Física Na Nossa Vida 11ºano*. Porto: Porto Editora.

Diaz, J. (2005). El Papel de las Analogías en la Creatividad de los Científicos: La Teoría del Campo Electromagnético de Maxwell como caso paradigmático de la Historia de las Ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 1(3), 188-205.

Dibner, B. (1964). *Alessandro Volta and the Electric Battery*. New York: Franklin Watts, Inc.

Dibner, B. (1976). *Benjamin Franklin, Electrician*. Connecticut: Burndy Library.

Dibner, B. (1971). *Luigi Galvani*. Connecticut: Burndy Library.

Dibner, B. (1961). *Oersted and the Discovery of Electromagnetism*. Connecticut: Burndy Library.

Dibner, B. (1976). *Ten Founding Fathers of the Electrical Science*. Connecticut: Burndy Library

Driver, R. (1989). Students' conceptions and the learning of science, *International Journal of Science Education*, 11, 5, 481 - 490

Driver, R. & Bell, B. (1986). Students' thinking and the learning of science: a constructivist view. *The School Science Review*, 67,240, 443-456.

Driver, R. et al (1985). *Children's ideas in science*. UK: Open University.

Duarte, M. (1987). Ideias alternativas e aprendizagem de conceitos – um estudo sobre propriedades do ar em alunos do ensino preparatório. Tese de Mestrado. Braga: Universidade do Minho.

Duit, R. e Treagust, D. (2003). Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25 (6), 671-688.

Estrela, E. et al. (2006). *Saber Escrever uma Tese e outros Textos*. Lisboa: Dom Quixote.

Farias, A. (1999). Existem dificuldades dos alunos na Interpretação da Interação Carga-Campo?. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 21 (3), 389-396.

Fiolhais, C. et al. (2006). *7 CFQ*. Lisboa: Texto Editores.

Fiolhais, C. et al. (2008). *9 CFQ*. Lisboa: Texto Editores.

- Ferreira, A. et al. (2008). 11F. Lisboa: Texto Editores.
- Fiolhais, C. & Trindade, J. (1999). Física para todos - concepções erradas em mecânica e estratégias computacionais. Instituto Politécnico de Tomar (ed.), Actas do I Colóquio de Física, "A Física no Ensino na Arte e na Engenharia".
- Freire, P. (1975). Pedagogia da Esperança. Rio de Janeiro: Paz e Terra.
- Gamow, G. (1961). The Great Physicists from Galileo to Einstein. New York: Dower Publications.
- Gil Pérez et al. (2002). Defending Constructivism in Science Education. *Science & Education*, 11, 557-571.
- Gowin, B. & Novak, D. (1996). Aprender a Aprender, Lisboa: Plátano Editora.
- Greca, I. & Moreira R. (1998). Modelos Mentales y aprendizaje de Física em Electricidad y Magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*. 6, 2, 289-303.
- Greca, I. & Moreira R. (2000). Mental Models, Conceptual Models and Modelling. *International Journal of Science Educational*, 22 (1), 1-11.
- Guedes, M. (1996). O gerador de Faraday. *Revista Electricidade*, 337, 243-245.
- Guedes, M. (2003). *O Fenómeno Eléctrico: algumas ideias e experiências durante o séc. XVIII*. Texto de apoio para a disciplina de História e Filosofia das Ciências. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Guillen, M. (1998). *Cinco Equações que mudaram o mundo*. Lisboa: Gradiva.
- Guisasola, J. et al. (2002). Learning the Electric Field Concept as oriented Research Activity. *Science Education*, 87, 640-662.
- Guisasola, J. et al. (2003). Concepciones Alternativas sobre el Campo Magnético Estacionario. Selección de Cuestiones Realizadas para su Detección. *Enseñanza de Las Ciencias*, 21(2), 281-293.
- Guisasola, J. et al. (2004). Difficulties in Learning the Introductory Magnetic Field Theory in the First Years of University. *Journal of Research in Science Teaching*, 88(3), 443-464.
- Gunstone, R. (1988). Learners in science education. In P. Fensham (Ed.), Development and dilemmas in science education (pp. 73-95). London: Falmer Press
- Halliday, D. et al. (2003). Fundamentos de Física, Electromagnetismo, (6ªed), vol.3, Rio de Janeiro: LTC Editora.
- Hamilton, J. (2002). Faraday, the Life. London: Harper Collins Publishers.
- Hankins, T. (2002). Ciência e Iluminismo. Lisboa: Porto Editora.

Harlen, W. (2002). Evaluar la alfabetización científica en el programa de la Evaluación internacional de estudiantes (PISA). *Enseñanza de Las Ciências*. 20, 2, 209-216.

Hewson, W. (1992). Conceptual change in science teaching and teacher education. Madrid: National Center for Educational Research, Documentation, and Assessment.

Hodson, D. (1998). Is this really what scientists do? Seeking a more authentic science in and beyond the school laboratory. In Wellington, J. (Ed.). *Practical work in school science: Which way now?*. Londres: Routledge, 93-108.

Jamett, H. (1985). *Laboratório de física: uma análise do currículo e da aprendizagem*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Instituto de Física.

Jonassen, D. et al. (1995). Constructivism and computer-mediated communication in distance education. *American Journal of Distance Education*. 9, 2, 7-25.

Kibble, B. (2002). Misconception about space? – It's on the cards. *Primary Science Review*. 72, 5-8.

Kipnis, N. (2006). Discovery in Science and in Teaching Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 16(9-10), 883-920.

Krapas, S. & Siva, M. (2007). Controvérsia acção à distância/acção mediada. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29 (3), 471-479

Leite, L. (1993). Concepções alternativas em mecânica: um contributo para a compreensão do seu contributo e persistência. Tese de Doutoramento. Universidade do Minho.

Leite, L. & Sequeira, M. (1988). A História da Ciência no Ensino-Aprendizagem das Ciências. *Revista Portuguesa de Educação*, 1 (2), 29-40.

Leite, M. e Almeida, M. (2001). Compreensão de termos científicos no discurso da ciência. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. 23(4). Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-47442001000400011&lng=pt&nrm=iso>

Levy, M. (2007). A Questão da Representação no Ensino de Ciências. Disponível em <http://forrester.sf.dfis.furg.br/mea/remea/anais3/artigo14.htm>.

Llancaqueo, A., Caballero, M. and Moreira, M. (2003). El aprendizaje del concepto de campo en física: una investigación exploratoria a luz de la teoría de Vergnaud. *Rev. Bras. Ens. Fis.* [online]. 25 (4), 399-417. Available from: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102>

Locqueneux, R. (1989). *História da Física*. Lisboa: Europa-América.

- Lopes, B. (1994). *Resolução de Problemas em Física e Química, Modelo para Estratégias de Ensino-Aprendizagem*. Lisboa: Texto Editora.
- Maciel, N., et al. (2006). *Eu e o Planeta Azul 7*. Porto: Porto Editora.
- Maciel, N., et al. (2008). *Eu e o Planeta Azul 9*. Porto: Porto Editora.
- Magalhães, M. et al. (2002). Uma Proposta para ensinar os Conceitos de Campo Eléctrico e Magnético: Uma aplicação da História da Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 24 (4), 489-496.
- Maloney, T. et al. (2001). Surveying Students Conceptual Knowledge of Electricity and Magnetism. *Physics Education*, 69(7), 12-23.
- Martins, R. (1986). Oersted e a descoberta do Electromagnetismo. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, 10, 89-114.
- Martins, R. (1988). Contribuição do conhecimento histórico ao ensino do Electromagnetismo. *Caderno Catarinense de ensino de Física*, 5, 49-57.
- Martins, R. (1999). Alessandro Volta e a Invenção da pilha: dificuldades no estabelecimento da identidade entre o galvanismo e a electricidade. *Acta Scientiarum. Technology*, 21 (4), 823-835.
- Medeiros, A. (2002). As Origens Históricas de Electroscópio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. 24, 3, 353-361.
- Meyer, H. (1972). *A History of Electricity and Magnetism*. Connecticut: Burndy Library.
- Moreira, M. (1996). Modelos Mentais. *Investigações em Ensino das Ciências*, 1 (3), 95-108.
- Moreira, M. (2008). Teoria dos Campos Conceptuais de Vergnaud, o Ensino de Ciências e a Pesquisa nesta área. *Investigações em ensino de Ciências*, 7(1).
- Moreira, M. & Pinto, A. (2003). Dificuldades dos alunos na aprendizagem da Lei de Ampère, à Luz da Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 25 (3), 317-325.
- Moreira, M., Buchweitz, B. (1993). *Novas estratégias de ensino e aprendizagem: os mapas conceituais e o Vê epistemológico*. Lisboa: Plátano Edições Técnicas.
- Morgado, J. (2007). *Aprender conceitos de Física – das dificuldades de aprendizagem ao estudo e aplicações de estratégias em contexto de sala de aula*. Tese de Mestrado em Física para o Ensino. Faculdade de Ciências. Universidade do Porto.
- Mortimer, E. (1996). Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? *Investigações em Ensino de Ciências*, 1 (1), 20-39.

- Muñoz, A. (2007). Motor Homopolar. *Rev. Eureka. Enseñ.Divul. Cient.*, 4 (2), 352-354).
- Nóvoa, António (coord), (2003). *Dicionário de Educadores Portugueses*. Porto: Edições Asa.
- Pancaldi, G. (2003). *Volta, Science and Culture in the Age of Enlightenment*, Princeton and Oxford: Princeton University Press.
- Peralta, H. (2002). Projectos curriculares e trabalho colaborativo na escola. *Em DEB (Ed.). Gestão Flexível do Currículo. Reflexões de formadores e investigadores*. Lisboa: ME, 13-21.
- Pereira, D. & Valadares, J. (1991). *Didáctica da Física e da Química, (Vol. 2)*. Lisboa: Universidade Aberta.
- Pires, I. & Ribeiro, S. (2008). *Universo da Matéria, 9º ano*. Lisboa: Santillana.
- Pocoví, C. (2007). The Effects of a History-Based Instructional Material on the Students Understanding of Field Lines. *Journal of Research in Science Teaching*. 44(1), 107-132.
- Pozo, J. (1991). Las ideas de los alumnos sobre ciencia: una interpretación desde la psicología cognitiva. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), 83-94.
- Pozo, J. et al. (1996). Las Ideas de los Alumnos sobre La Ciencia: una Interpretación desde la Psicología Cognitiva. *Enseñanza de las Ciencias*, 7, 18-26.
- Purcel, E. (1970). *Electricity and Magnetism*. Berkeley physics course, vol.2, New York: Mcgraw-Hill.
- Rebelo, A. & Rebelo, F. (2006). *Terra.Lab, Terra no Espaço, 7º ano*. Lisboa: Lisboa Editora.
- Rebelo, A. & Rebelo, F. (2008). *Terra.Lab, Viver melhor na Terra, 9º ano*. Lisboa: Lisboa Editora.
- Resende, F. et al (2008). *(CFQ) 9*. Porto: Areal Editores.
- Resende, F e tal (2008). *Física 11*. Porto: Areal Editores.
- Rogers, C. (1969). *Freedom To Learn*. Columbus, Ohio: Merrill Publishing Company.
- Saglam, M. & MILLAR, R. (2006). Diagnostic Test of Students Ideas in Electromagnetism. Department of Education Studies. University of York.
- Saglam, M. & MILLAR, R. (2006). Upper High School Students Understanding of Electromagnetism. *International Journal of Science Education*, 28(5), 543-566.

Salinas, J. & Velazco, S. (2001). Comprensión de los Conceptos de Campo, Energia y Potencial Eléctricos y Magnéticos en Estudiantes Universitarios. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 23 (3), 308-318.

Santos, M. & Praia, J. (1992). Percurso de mudança na Didáctica das Ciências. Sua fundamentação epistemológica. In: *Ensino das Ciências e Formação de Professores*. 7-34. Projecto Mutare. Universidade de Aveiro.

Santos, E. (2005). O motor eléctrico como um organizador prévio para a introdução de conceitos básicos de magnetismo. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Saslow, M. (2002). *Electricity, Magnetism, and Light*. U.S.A.:Texas A&M University.

Schoon, J. (1992). Students' Alternative Conceptions of Earth and Space. *Journal of Geological Education*, 40, 209-214.

Silva, C. (2006). The role of models and Analogies in the electromagnetic Theory: A Historical Case Study. *Science e Education*, 16 (7-8), 835-848.

Silva, D. (2008). *Desafios da Física*. Lisboa: Lisboa Editora.

Simpson, T. (2006). *Maxwell on the Electromagnetic Field*. New Jersey and London: Rutgers University Press.

Staver, J. (2007). O Ensino das Ciências, pub. Academia Internacional de educação, Departamento Internacional de Educação, Série Práticas Educativas – 17, trad. Maria Helena Santos Silva e José Pinto Lopes, Unesco.

Stern, D. (2004). Teaching about Magnetism. Talk for as workshop at the U. of New Hampshire, Durham, intended for middle school and high school teachers. <http://www.phy6.org/stargaze/Sstern.htm>

Teixeira, J. (1966). *Curso de Física*, 3º ciclo liceal (2ª edição, vol.1). Coimbra: Coimbra Editora, Lda.

Teodoro, V., Veit, E. (2002). Modelagem no Ensino/Aprendizagem de Física e os Novos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 24 (2), 87-96.

Teodoro, V. (1984). *A Teoria de Aprendizagem de Ausubel: uma Ferramenta prática para professores*. Lisboa: IPED.

Valadares, J & Fonseca, F. (2002). Uma Estratégia Construtivista para o Ensino da Óptica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 24 (2), 74-85.

Valadares, J. (2000). *A importância Epistemológica e Educacional do Vê do Conhecimento*. Conferência do III Encontro Internacional de Aprendizagem Significativa, Universidade Aberta. Acesso em 23/01/08.

Valadares, J. (2001). Estratégias Construtivistas e Investigativas no Ensino das Ciências. Conferência proferida no Encontro «O Ensino das Ciências no Âmbito dos Novos Programas», na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Acesso em 6/03/08.

Valadares, J. e Gouveia, V. (2004). A aprendizagem em ambientes construtivistas: uma pesquisa relacionada com o tema ácido - base. *Investigações em Ensino de Ciências*, 9 (2), 199-220.

Valente, M. et al (1985). *Projecto Física, unidade 4, Luz e Electromagnetismo*, Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

Praia, J. et al. (2003). *Teorias de aprendizagem e o ensino/aprendizagem das ciências: da instrução à aprendizagem. Psicol. Esc.Educ.*, 7(1), 11-19.

Viennot, L. (1979). Spontaneous Reasoning in Elementary Dynamics, *International Journal of Science Education*, 1(2), 205 – 221.

Villani, A. et al. (1997). Construtivismo, Conhecimento Científico e Habilidade, Didáctica no Ensino das Ciências, *Rev. Fac. Educ.*, 23, 1-2. Acesso em 29/04/07

Vosniadou, S. (1991). Designing curricula for conceptual restructuring; lessons from the study of knowledge acquisition in astronomy. *Journal of Curriculum Studies*, 23, 219-237. Acesso em 9/1/08

Zannos, S. (2005). *Michael Faraday and the Discovery of Electromagnetism*. U.S.A: Mitchell Lane Publishers.

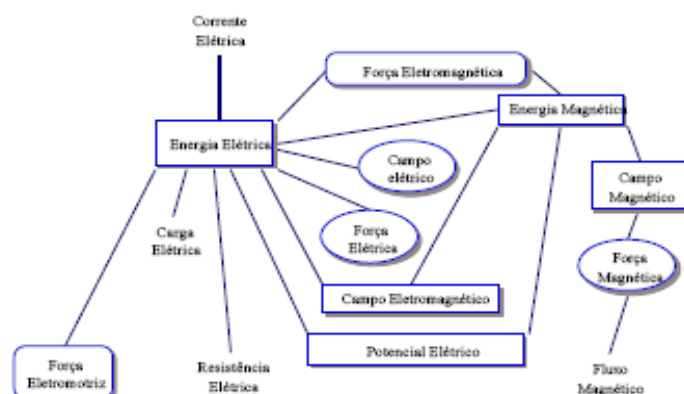
www.gave.min-edu.pt/np3/205.html (Exame Física e Química A -2ª fase)

www.dgidc.min-du.pt/fichdown/programas/ciencias_fisicas_naturais.pdf

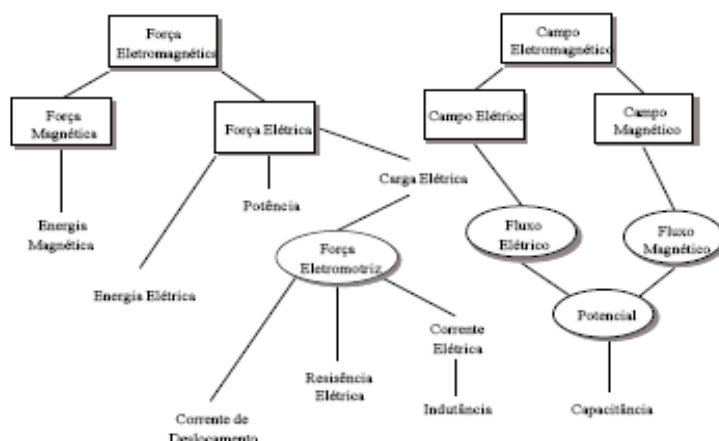
ANEXOS

ANEXO I – MAPA DE CONCEITOS

1.



2.



3.

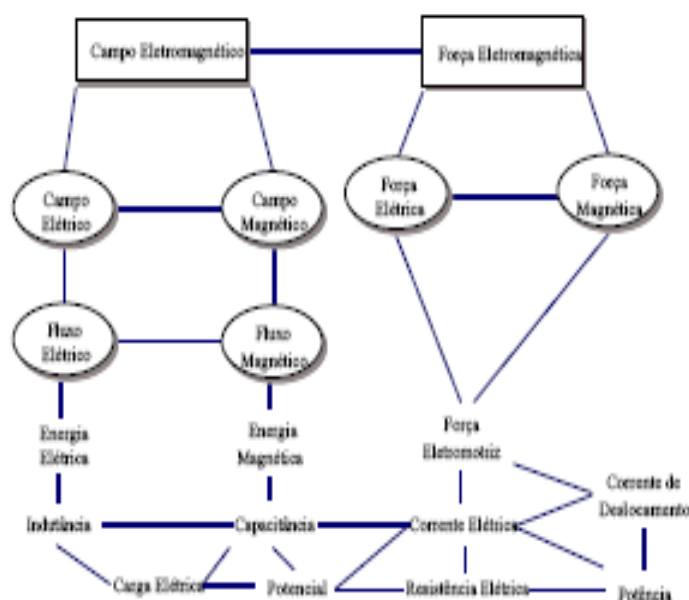


Figura 27 – Exemplos de mapas de conceitos construídos por alunos antes, durante e depois da aprendizagem em Electromagnetismo (Moreira, 2006)

ANEXO II – Referência Histórica sobre o Desenvolvimento do Electromagnetismo

1. 1 Evolução da Electricidade até à Descoberta do Electromagnetismo

Desde a antiguidade que duas substâncias, âmbar e magnetite³⁷ suscitaram grande interesse e foram objecto de estudo. O âmbar é uma resina fóssil proveniente de uma espécie de pinheiro já desaparecida³⁸, que escorria pelas suas cascas nas épocas mais quentes. Passaram alguns milhões de anos e a resina desses pinheiros fossilizou, transformando-se no que actualmente designamos por *âmbar*, possui uma cor que varia entre o amarelo e o castanho semitransparente e por combustão produz um aroma muito agradável.



Figura 28 - Âmbar

O âmbar foi muito usado desde a antiguidade em joalheria. As “rotas do âmbar” desde do Báltico até ao Adriático, passando pelo Mediterrâneo, são as mais antigas da História. É bonito e fácil de trabalhar, sendo muito apreciado sob a forma de contas, em colares e outros ornamentos, foram também encontrados fósseis de insectos no seu interior. Ao friccionar um bocado de âmbar com uma pele de gato é possível atrair bocados de substâncias leves. Este facto deve-se a um fenómeno que viria a ser designado por electricidade³⁹

É referido, a este propósito, o nome de Thales de Mileto (624-547 a.C.), filósofo grego, como tendo efectuado as primeiras experiências. Esses factos eram então, até a época de Thales, encarados como mágicos. Este atribuíu ao

³⁷ - A Magnetite, é um mineral magnético formado por óxidos de ferro II e III ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$), cuja fórmula química é Fe_3O_4 , apresenta na sua composição, aproximadamente, 31% de FeO e 69% de Fe_2O_3 ou 72,4% de ferro e 27,6% de oxigénio.

³⁸ Cujo nome científico era “*pinus succinifer*”, daí o nome de âmbar ser succinite.

³⁹ É na designação grega (ηλεκτρον, *eléktron*) ou latina (*electrum*) do âmbar que se encontra a origem da palavra electricidade.

âmbar e à magnetite uma espécie de poder vital, algo como uma “alma”. Esse poder mágico permaneceu rodeado de mistério durante quase dois mil anos, até que um médico inglês, William Gilbert (1544-1603), iniciou as primeiras investigações sobre o assunto.

Relativamente à magnetite este termo tem origem um tanto obscura, ao que parece está ligada à região da Magnésia (Turquia), onde pela primeira vez as suas propriedades bastante invulgaes foram descobertas: atrai materiais de ferro. Em Portugal existe em pelo menos dois locais, na Serra do Marão, em Trás-os-Montes, nas minas da Panasqueira no Alentejo.

No domínio dos fenómenos que hoje ligamos à Electricidade e Magnetismo foi muito pequeno o aumento do conhecimento durante a Idade Média. Baseado nos conhecimentos físicos apresentados nas obras de Aristóteles, ou dos seus discípulos, ao longo da Idade Média apenas foram feitos comentários e encontradas explicações fantasiosas. No entanto foram importantes os comentadores cristãos desses fenómenos, que os inseriram nas suas polémicas teológicas: S. Alberto Magno e S. Tomás de Aquino (1225-1274) que refere a propósito:

“... Pois da mesma forma que a causa geradora move os corpos graves e ligeiros quando lhe dá a natureza em virtude da qual eles se movem para o seu sítio, da mesma forma o íman dá ao ferro alguma qualidade em razão da qual o ferro se move para ele, o que é evidente por três razões. Primeiro porque o íman não atrai o ferro a qualquer distância, mas somente quando está perto, ou se o ferro se deslocasse para o íman somente como para o seu fim assim como o corpo pesado para o seu lugar, ele o faria a qualquer distância. Em segundo lugar se o íman for friccionado com alho, ele não pode atrair o ferro como se com o alho o seu poder de alterar o ferro fosse impedido ou mesmo mudado em sentido contrário. Em terceiro lugar porque para o íman atraia o ferro, é preciso primeiro, sobretudo se o íman é pequeno, friccionar o ferro contra o íman e assim o íman recebe um certo poder de se mover para ele. Assim o íman atrai o ferro não somente como fim, mas também como motor eficiente e alternante.” – (Guedes, 2003)

Assim até ao início do Renascimento o conhecimento do fenómeno eléctrico pouco progrediu, enquanto sobre o fenómeno magnético, Pierre de Maricourt, cientista francês, fez algumas experiências e escreveu o primeiro tratado que

refere as propriedades da pedra-íman a que chamou “Epistola de Magnete” (1269).

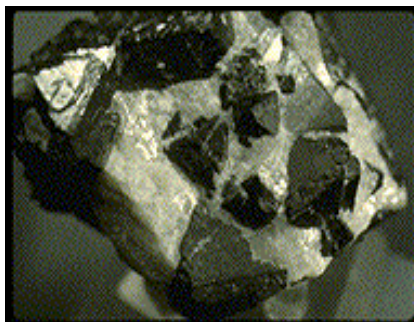


Figura 29 – Magnetite

Descobriu que pedaços de magnetite suspensos ou a flutuar orientavam – se segundo uma determinada direcção, o norte geográfico. Repetiu a experiência por diversas vezes e o resultado foi sempre o mesmo. *«E se a pedra for desviada mil vezes, mil vezes voltará à mesma posição, por instinto natural»*, escreveu Maricourt. Foi também Maricourt que friccionando pequenas lâminas de ferro com a pedra magnética, construiu ímanes artificiais e com eles fez algumas experiências. Parece ter sido sua, a ideia de cortar um desses ímanes em dois, talvez com o objectivo de separar os pólos e descobriu que cada uma das metades se comportava também como um íman. Assim em consequência das suas investigações, chegou às seguintes conclusões:

- Pólos do mesmo tipo repelem-se; pólos de tipo diferentes atraem-se (leis qualitativas das acções magnéticas);
- A impossibilidade de separar os pólos do íman;
- A magnetização, por contacto, do ferro;
- A existência da magnetização temporária de algumas substâncias e a magnetização permanente de outras.

A magnetite é a pedra-íman mais magnética de todos os minerais da Terra, a existência desta propriedade foi utilizada na fabricação de bússolas. A primeira referência europeia acerca da bússola, parece ter sido dada por um Monge inglês, Alexander Neckham⁴⁰ (1157-1217). Seguiu-se um marinheiro inglês,

⁴⁰ Um dos homens mais conhecidos na época pelos seus vastos conhecimentos, que iam desde a História, à criação de jóias passando pela Ciência, foi professor e passou a maior parte da sua vida no Convento de Cirencester. (Inglaterra)

Robert Norman que publicou em Londres (1581), um folheto com a designação "The Newe Attractive"⁴¹, onde anunciava a construção da primeira bússola, assim como fazia referência a alguns aspectos práticos da sua utilização na navegação. Foi em pleno século XII que na Europa se começou a usar a bússola como instrumento auxiliar na navegação, os chineses já conheciam as suas potencialidades há muito tempo e teria chegado à Europa por intermédio dos Árabes.

No período compreendido entre os anos 1000 – 1200 d.C., um matemático, Shen Kua (1030-1090) parecer ter sido o primeiro que mencionou a utilização de uma agulha magnética para indicar direcções, possivelmente o antecedente da bússola. Este instrumento baseava-se no princípio de que suspendendo um íman em forma de agulha, de tal maneira que pode girar livremente, um dos seus extremos apontará sempre para Norte.

1.1.1. William Gilbert



O relato sobre as origens do magnetismo e da electricidade foram durante séculos tratados separadamente. O desenvolvimento moderno deste assunto começou em 1600 com a publicação em Londres do livro "De Magnete, Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure; Physiologia Nova, Pluribus et Argumentis et Experimentis Demonstrata", mais conhecido por «De Magnete» de William Gilbert.

Figura 30 - Retrato de época do médico William Gilbert (1544-1603)

A família viveu em Colchester a cerca de 80 Km a nordeste de Londres, onde o pai Jerome Gilbert exercia o cargo de Magistrado. William foi educado no St John's College em Cambridge, onde esteve cerca de onze anos até 1569, onde se formou em Medicina. Seguiu-se uma viagem à Europa que durou quatro anos, antes de se instalar de vez em Londres (1573) para exercer a profissão de médico. Teve bastante sucesso na sua carreira, de tal forma que em 1599 foi eleito presidente do Royal College of Physicians e em 1601 foi nomeado chefe

41 Já fazia referência às propriedades da pedra-íman, construiu a primeira bússola, pois observou que a agulha se movimentava na horizontal, formando um ângulo com a linha do horizonte.

dos Físicos⁴² da Rainha Isabel I. Foi considerado um dos homens da Ciência mais importantes do reino de tal modo que a rainha lhe atribuiu uma pensão vitalícia, incentivando-o a continuar as suas investigações. A Rainha morreu dois anos depois mas apesar deste contratempo continuou a ser o médico real da corte, até à sua própria morte ocorrida devido à Peste Negra. Apesar de Gilbert ter sido um excelente médico, não é lembrado actualmente por essa razão, mas sim pelas suas investigações sobre magnetismo e electricidade que descreveu no seu livro "De Magnete", traduzido para inglês, com o título de "*On the Magnet, Magnetic Bodies and that Great Magnet the Earth*" (*Sobre o íman, os corpos magnéticos e o grande íman, a Terra*), tendo sido o primeiro livro editado sobre física experimental. Em 1651, a restante colecção de manuscritos, foi publicada, a título póstumo, com a designação "*De Mundo Nostro Sublunari Philosophia Nova*" (Nova filosofia sobre o nosso mundo sublunar), onde Gilbert discutia a interacção entre a Terra e a Lua em termos magnéticos.

"De Magnete" encontra-se dividido em seis livros. No primeiro começa por fazer uma contextualização histórica, descreve as propriedades magnéticas das pedras-ímanes (pólos, atracção, etc.), e a magnetização do ferro. Sobre a pedra-íman, Gilbert escreveu:

"A pedra-íman" é uma coisa maravilhosa em muitas experiências, quase uma coisa viva. Uma das suas notáveis virtudes é aquela em que os antigos a consideravam a alma viva do céu, na Terra, nas estrelas, no Sol e na Lua"

Foi o primeiro a utilizar a designação de pólo norte e pólo sul para as extremidades das agulhas magnéticas. Foi também o primeiro a usar os termos "força eléctrica", e "atracção eléctrica". Finaliza este livro com a sua grande descoberta, a Terra como um íman gigante e por fim menciona as propriedades curativas desta pedra e do ferro.

No segundo livro descreve as diferenças existentes entre as propriedades atractivas da pedra-íman e do âmbar, a que ele deu o nome de "força eléctrica". Reparou por exemplo que a pedra-íman não necessita de ser friccionada para manifestar a sua capacidade de atracção, ao contrário do que acontece com o âmbar; que a pedra-íman apenas atrai substâncias como o ferro enquanto o

⁴² Na época os médicos eram designados por "físicos".

âmbar friccionado atrai qualquer corpo leve; e finalmente, que a pedra-íman provoca uma certa orientação nos corpos que atrai o que não sucede com o âmbar. Aqui ainda se encontram registados os resultados das investigações realizadas com diversos tipos de materiais, por exemplo, o vidro, o diamante, a safira, ametista, o enxofre e o lacre tendo distinguido de entre os materiais que atraíam corpos leves, depois de friccionados, os “*eléctricos*” e as outras substâncias que ele não conseguia electrificar por fricção, que não possuíam propriedades eléctricas e que Gilbert designou por “*aneléctricos - não eléctricas*” – esmeralda, ágata, pérolas, alabastro, coral, marfim, madeiras, prata, ouro, cobre e ferro⁴³. Actualmente designamos estas substâncias por condutoras mas, em 1600, Gilbert ainda nada sabia sobre a condução eléctrica.



Figura 31 - Gravura de época, mostrando um ferreiro a preparar uma barra de ferro na direcção Norte-Sul geográfica (do livro *De Magnete*, de W. Gilbert, publicado em 1600)

Construiu uma esfera usando magnetite, que designou por “Terrella”, isto é, pequena Terra. O terceiro livro faz uma referência muito detalhada sobre a magnetização das agulhas e a distribuição das forças magnéticas na sua pequena terra, a “Terrella”. Esta experiência foi de grande importância pois foi com ela que Gilbert relacionou o campo magnético da Terra com o da sua Terrella.

⁴³ O seu amigo Francis Bacon (1561-1626), também apresentou em 1620 uma listagem de corpos eléctricos e caracteriza a repulsão entre duas bolas de medula de sabugueiro.

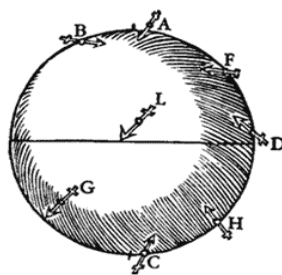


Figura 32 - "Terrella" desenhada por Gilbert e respectivas direcções

A referência ao geomagnetismo está mais desenvolvido nos livros subsequentes onde o autor fala na diferença entre o Norte Geográfico e o Norte Magnético e a declinação magnética a que deu o nome de "variação", designação que passou a "declinação" no quinto livro. O último livro foi o mais polémico de todos. Gilbert entrou num campo altamente perigoso para a época, os movimentos da Terra e das estrelas a que Gilbert associa erroneamente o magnetismo e acreditava suportar toda a Teoria Copernicana⁴⁴, ou seja pensava que as forças que mantinham os planetas no seu movimento em torno do Sol eram do tipo magnética, eram resultado de uma atracção magnética. Só meio século mais tarde Newton explicou que esse movimento era devido a forças gravíticas. Tudo isto era inaceitável do ponto de vista da Igreja Católica, pelo que na época foi retirada de todos os livros existentes toda e qualquer menção a este assunto, tendo inclusive sido destruídos alguns livros. Foi preciso muita coragem a Gilbert para escrever todas aquelas afirmações polémicas pois, se estivesse em Itália, teria sido queimado vivo por heresia, como aconteceu ao seu colega Giordano Bruno⁴⁵.

Para concluir, a ideia de acção à distância para controlar todo o movimento planetário foi crucial tanto para Robert Hooke⁴⁶ como para Newton, quando descobriram a gravidade. Foi também essencial o facto de Gilbert ter distinguido

⁴⁴ A Teoria Copernicana ou modelo heliocêntrico foi formulada pelo astrónomo Nicolás Copérnico (1473-1543), a Terra movimentava-se em torno do Sol.

⁴⁵ Giordano Bruno (1548-1600), entrou para a ordem Dominicana, mas desde cedo se interessou por vários assuntos ligados à filosofia, astronomia, ciências ocultas. Devido às suas capacidades de memorização, chamou a atenção de mecenas, pelo que saiu do Mosteiro e correu a Europa. Pelas suas opiniões, nomeadamente no que diz respeito à Teoria Copernicana, foi preso pela Inquisição e morreu na fogueira.

⁴⁶ Robert Hooke (1635-1703), Cientista e inventor inglês. Foi educado em Oxford onde foi assistente de Robert Boyle. Foi membro da Royal Society e os seus interesses pelo mundo científico foi vasto, desde a Astronomia, Biologia (utilizou pela primeira vez o conceito de célula), Física e Arquitectura. Construiu microscópios, barómetros, aparelhos de óptica, etc. Deve-se a ele, a Lei de Hooke.

eflúvios⁴⁷ eléctricos⁴⁸ e magnéticos, os vários “eléctricos”, mas não chegou a caracterizar cargas positivas e cargas negativas. Foram precisos 150 anos para alguém o fazer e foi o suficiente para o intitular “pai da electricidade”. O físico e polímato⁴⁹ William Whewell escrevia em 1859:

“Os trabalhos de Gilbert contêm os princípios orientadores da Ciência, estão tão bem explicados que actualmente temos pouco mais a dizer”

As investigações de Gilbert decorreram em grande parte entre os anos de 1581 a 1600, em paralelo com a sua actividade de médico. As experiências eram realizadas e discutidas com um grupo de amigos com interesses em comum, que Gilbert reunia em sua casa nessas ocasiões⁵⁰. Embora o estudo do magnetismo fosse para Gilbert um hobby, parece que foi por sua causa que nunca casou, contava-se que gastava todo o dinheiro que possuía na aquisição de instrumentos e outros materiais. Gilbert iniciou os seus estudos com a construção de uma espécie de bússola, que designou por “*electroscópio – versorium*”, mas enquanto a bússola detecta o magnetismo, este instrumento foi o primeiro que detectou electricidade. Com ele efectuou estudos sobre as atracções⁵¹ dos corpos carregados electricamente. Gilbert foi um dos primeiros a investigar fenómenos eléctricos e a identificar uma natureza própria para a electricidade, distinta do magnetismo. Concluiu que o magnetismo não podia ser transmitido através de partículas materiais, como imaginava que fosse a transmissão por atracção eléctrica. Para Gilbert, os ímanes eram dotados de almas activas e capazes de se movimentarem por si próprias, como Tales de Mileto e Aristóteles (384-322 a.C.) o afirmaram no passado.

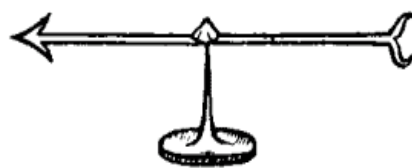


Figura 33 - O Versorium de Gilbert. O primeiro aparelho rudimentar para medir a força eléctrica.

⁴⁷ “efluir” - fluir de dentro para fora.

⁴⁸ As palavras “eléctrica” e “electricidade” foram pela primeira vez aplicadas em 1618 e 1646, respectivamente. ‘Eflúvio’, atmosfera invisível que rodeava os corpos.

⁴⁹ Aquele que estuda ou sabe de muitas ciências.

⁵⁰ Situação semelhante, esteve na base da fundação da Royal Society, meio século mais tarde, com o apoio do Rei Carlos II, com o fim de “investigar sobre a natureza e de inquirir sobre as suas actividade e os seus poderes pela observação e a experiência”. Em França sob o patrocínio de Luís XIV, é criada a Académie Royale des Sciences.

⁵¹ Gilbert negava a existência de repulsão.

O “Versorium” era uma espécie de seta metálica leve que girava livremente, apoiada num suporte. Na época em que Gilbert iniciou as suas investigações acreditava-se que era “o calor que criava a força de atracção”. Utilizando o seu electroscópio (o mais antigo), Gilbert conseguiu mostrar que não era o calor, o responsável pelo aparecimento dessa “força”. Para isso, Gilbert primeiro friccionou um pedaço de âmbar, viu que o mesmo ficava quente e era capaz de atrair a ponta do Versorium. De seguida, aqueceu outro pedaço de âmbar numa chama, mas sem friccioná-lo e quando o aproximou do *Versorium* não houve atracção. Com esta ferramenta, Gilbert mostrou que outras substâncias como a laca, o berílio, a opala, a safira etc. podiam ser carregadas electricamente. Mostrou ainda que, quando aproximava objectos electrizados do ponteiro do *Versorium*, este rodava, ao passo que a magnetite era capaz apenas de atrair alguns tipos de materiais. Gilbert pensou numa explicação para esse movimento da agulha de magnetite e chegou à conclusão que a Terra tinha o comportamento de um grande íman.

Sobre a Terrella, Gilbert escreveu:⁵²

“The Terrella sends its force abroad in all directions, according to its energy and its quality. But whenever iron or other magnetic body of suitable size happens within its sphere of influence it is attracted; yet the nearer it is to the loadstone the greater the force with which it is borne toward it. Such bodies tend to the loadstone not as toward a centre not towards its centre: that they do only at its poles...”

Assim como os ímanes, a Terra também seria enriquecido de uma alma cujo poder de agir à distância seria explicado por Gilbert analogamente à sua concepção de um eflúvio magnético emitido pelo íman. Suponha que esse eflúvio envolvesse o corpo atraído tal como um braço que puxava para si o íman.

Com a Terrella pôde então verificar que, quando colocava uma pequena bússola sobre ela, esta orientava-se numa certa direcção, aproximadamente como o fazem as bússolas colocadas em qualquer lugar na Terra, a direcção norte-sul.

⁵² in “De Magnete” – livro II , capítulo 6

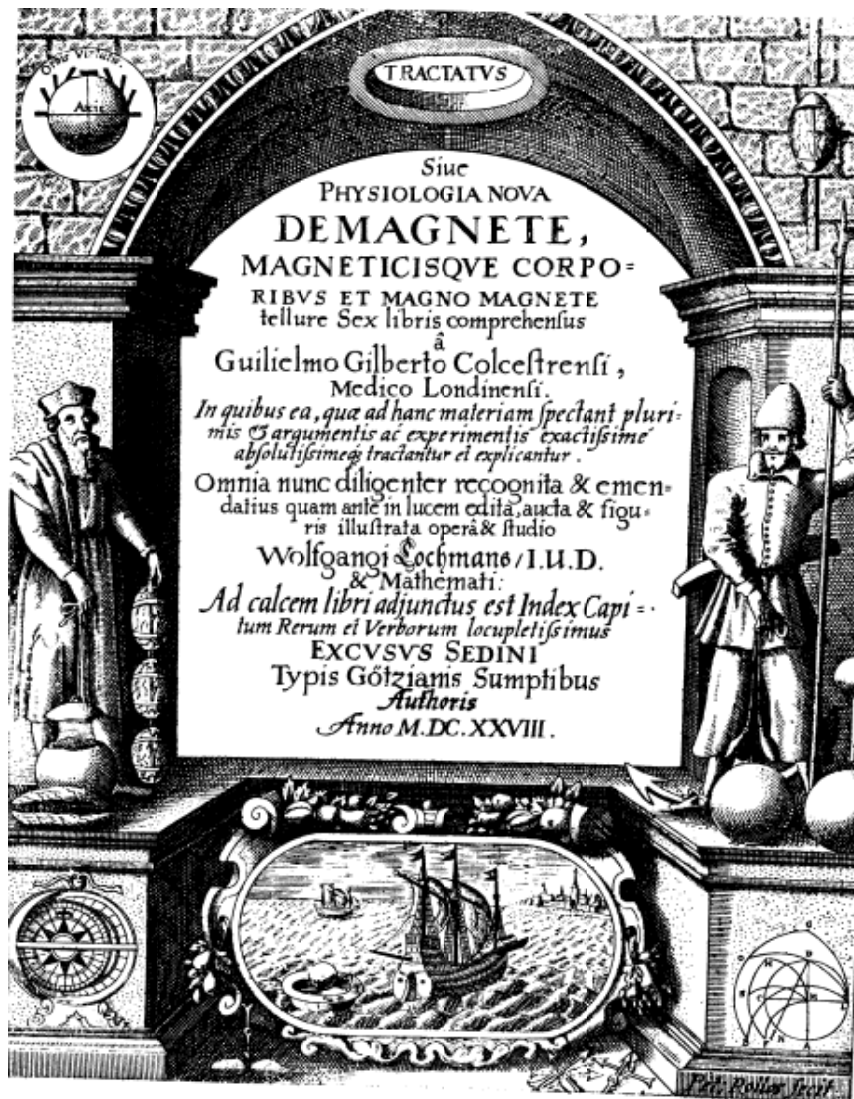


Figura 34 - Frontispício do livro de Gilbert "De Magnete", numa edição de 1628.
(<http://www.phy6.org/Education/MagTeach.htm>)

Esse procedimento de colocar a bússola em vários pontos da "Terrella" para saber em que direcção apontaria a força magnética, foi fundamental para a construção do conceito de campo magnético na época de Faraday⁵³. Se marcarmos todas as direcções apontadas pela bússola em diferentes partes da "Terrella", obteremos uma representação do campo magnético da Terra.

Mas Gilbert também se interessava pelo estudo do campo magnético produzido por ímanes de outras formas. Até agora, foram descritos instrumentos semelhantes a bússolas, ponteiros que giram num plano. Gilbert queria conhecer

⁵³ Químico e Físico do séc. XIX que descobriu a indução electromagnética.

mais sobre o campo magnético terrestre, questionando-se sobre qual seria a sua orientação espacial. Construiu uma bússola a três dimensões em que o ponteiro podia indicar qualquer posição no espaço, estas bússolas registavam o comportamento do fenómeno magnético e mediam a declinação magnética⁵⁴, daí a designação de bússolas de declinação.

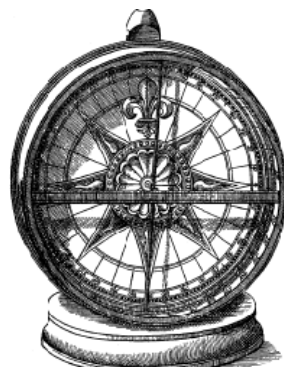


Figura 35 - Esquema da Bússola de declinação construída por Gilbert
(<http://www.phy6.org/Education/MagTeach.htm>)

Parece importante salientar duas ideias que em conjunto forneceram explicações possíveis para os fenómenos, electricidade e magnetismo, sem a utilização da noção de acção à distância e que serviram de ponto de partida para o seu estudo nos séculos seguintes: a sua concepção de esfera de influência magnética para explicar os efeitos magnéticos e a explicação do efeito do âmbar em termos de eflúvios eléctricos. Gilbert concluiu:

- Os metais não se electrizam por fricção;
- Existem corpos que, quando friccionados, se comportam como o âmbar;
- A propriedade magnética de um corpo distribui-se à volta dele, no espaço envolvente;
- Um corpo pode ser magnetizado por influência de outro;
- O magnetismo é inerente às substâncias terrenas, devido à forma do nosso astro, sendo esta forma que é responsável pelo poder atractivo da Terra;
- Os fenómenos eléctricos e magnéticos têm origens diferentes.

⁵⁴ A extremidade norte da agulha magnética não aponta exactamente para o norte geográfico ou seja o meridiano norte-sul magnético de um lugar não coincide, em geral, com o meridiano geográfico desse mesmo lugar. Ao ângulo que fazem entre si dá-se o nome de declinação magnética. Parece ter sido Colombo quem descobriu a declinação magnética por volta de 1492. Este facto originou muitos erros de navegação.

1.1.2. Nicolo Cabeo

Após Gilbert, as experiências com electricidade continuaram a ser efectuadas por Jesuítas e por membros da Accademia del Cimento (Academia da Experiência) italiana. O italiano Nicolo Cabeo (1585-1650), jesuíta e professor de Matemática na Universidade de Parma, escreveu o segundo livro sobre Electricidade intitulado "*Philosophia magnética*", editado em 1629, o mais significativo desse século, após Gilbert. Foi o primeiro a assinalar que alguns corpos depois de atraídos pelo âmbar são de seguida repelidos.

Cabeo seguiu algumas ideias de Gilbert, à excepção da que afirmava que o movimento da terra era a causa do seu magnetismo em que Cabeo não acreditava, para ele a Terra estava imóvel, no seu livro escreveu:

"Magnetic attractions and repulsions are physical actions which take place through the instrumentality of a certain quality of the intermediate space, said quality extending from the influencing to the influenced body... Bodies are not moved by sympathy or antipathy, unless it be by certain forces which are uniformly diffused. When these forces reach a body that is suitable they produce changes in it, but they do not sensibly affect neither the intermediate space nor the non-kindred bodies close by it..."

1.1.3. Otto Von Guericke

Em meados do século XVII, outro grande acontecimento ajudou ao desenvolvimento da electricidade e do magnetismo. Otto Von Guericke (1602-1686) estudou "Leis" na Universidade de Leipzig e na Universidade de Leiden



completou os seus estudos em Matemática, Mecânica e Engenharia Militar. Participou na guerra dos 30 anos e foi durante muitos anos Magistrado da cidade de Magdeburgo. Quando não estava ocupado com os seus deveres de cidadão, dedicava-se à investigação nas áreas da electricidade e na construção de equipamentos pneumáticos.

Figura 37 - Retrato de época de Otto Von Guericke, retirado do livro "Experimenta Nova".

Além da primeira bomba de ar e do barómetro de água, inventou em 1660 a primeira máquina eléctrica, um gerador electrostático rotativo. Descreveu em pormenor o seu funcionamento no livro "Experimenta Nova Magdeburgica, (Amesterdão, 1672).

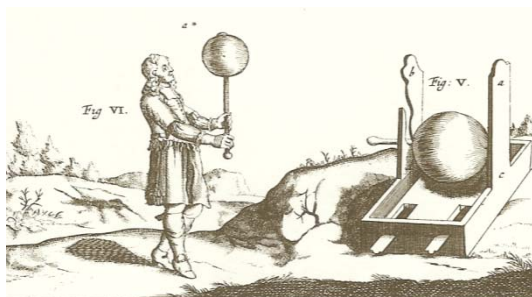


Figura 38 – A primeira máquina Eléctrica de Guericke em retrato da época (1660) e um protótipo actual.

Constituída por uma esfera de enxofre atravessada por um eixo em ferro assente em duas chumaceiras⁵⁵ que podia ser colocada em rotação rápida, imitando a rotação da Terra⁵⁶. Encostando-se uma mão seca ou um pano de lã à esfera de enxofre em movimento, esta electriza-se fortemente por fricção (descobriu a electrização por contacto). Quando se aproxima um determinado corpo, este é atraído, mas quando entra em contacto com a esfera é repellido. Fenómenos como os descritos, acompanhados de faíscas e do ruído característico que ocorre durante a electrização da esfera de enxofre podiam ser observados neste equipamento. Quase que se antecipou a Benjamin Franklin nas descargas eléctricas em condutores. Os fenómenos da condução, ou seja a transferência de electricidade de um corpo para outro, e da indução foram intensamente observados e demonstrados por Guericke, mas não resultou daí qualquer teoria tendo, anos mais tarde, sido objecto de vastos estudos por parte de outros investigadores na área da electricidade. Mas foi Guericke que por volta de 1663, descobriu o fenómeno da repulsão, apesar de Cabeo já o ter mencionado.

Até agora fez-se referência a Gilbert, às suas experiências com ímanes, a sua participação na evolução do magnetismo e da electricidade. Demonstrou factos e avançou com algumas teorias, ainda que o sistema de leis que regem ambas as

⁵⁵ Peça sobre a qual se move um eixo.

⁵⁶ Guericke procurou recriar um sistema representativo da Terra, com as suas seis virtudes, ou propriedades, na actualidade são fenómenos eléctricos. Essas seis virtudes eram: a capacidade ou virtude de atrair corpos, a capacidade repulsiva, a virtude impulsiva, a virtude sonora, a iluminante e a térmica.

ciências só mais tarde viesse a ser desenvolvido. A descoberta da atracção e repulsão dos corpos com a esfera de enxofre, por Guericke foi mais um passo em frente. Robert Boyle (1627-1691), filósofo irlandês realizou também algumas experiências sobre magnetismo e electricidade e diria no seu livro " Philosophical Works" editado em 1725:

"...removi um pedaço de âmbar dos raios solares depois de o terem moderadamente aquecido e então descobri que ele atraía aqueles pequenos corpos que não atraía antes".

Mas foi preciso mais de um século após Gilbert para se descobrir ainda mais sobre a electricidade e o magnetismo.

1.1.4. Francis Hauksbee

A construção de máquinas electrostáticas continuou e, em 1705, o inglês Francis Hauksbee (1666-1713), realizou um conjunto de experiências e aperfeiçoou a máquina electrostática de Guericke (foram muitos os que construíram máquinas electrostáticas, após Guericke), colocando mercúrio no interior de um globo de vidro, ao qual se retirou a maior parte do ar, criando vácuo parcial. Movimentava-se o globo, dando à manivela e colocando-se a outra mão no seu topo provocava-se uma descarga que é visível no interior do globo, um clarão (que ficava mais brilhante à medida que o ar era retirado). Este fenómeno era eléctrico, embora Hauksbee tivesse poucas possibilidades de conseguir explicar o que se passava. Na verdade estava a observar uma descarga eléctrica através de um gás a pressão reduzida, o princípio actualmente utilizado na iluminação das ruas e painéis de publicidade.

Hauksbee descobriu que o seu globo giratório constituía um meio apropriado para produzir electricidade, mostrou igualmente que um globo de vácuo que estivesse próximo também brilhava e concluiu que o "eflúvio eléctrico"⁵⁷ provocado pelo globo giratório devia estar a friccionar o outro globo, fazendo com que ele também brilhasse, estava descoberta a indução eléctrica.

⁵⁷ Gilbert já mencionava o conceito 'eflúvio'.

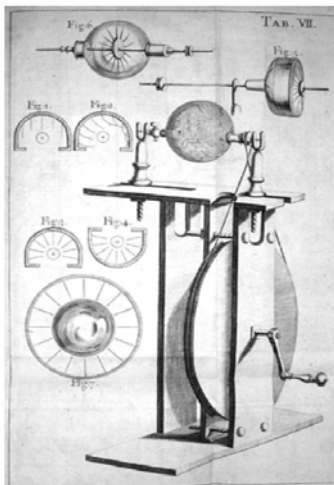


Figura 36 - Máquina Electrostática ou electrogerador, construída por Francis Hauksbee em figura de época e um protótipo actual.

Conseguiu descrever o modo de funcionamento dos instrumentos que construía e registava de uma forma clara o que observava e o modo como ocorriam as experiências, mas não especulava teorias, apesar de ser seguidor da “teoria do eflúvio”.

1.1.5. Stephan Gray

Mais tarde, um outro inglês, Stephan Gray (1666-1736) experimentalista amador e assistente de professores de Filosofia Experimental nas Universidades de Cambridge e de Londres, colaborador da Royal Society⁵⁸, descobriu que a electricidade podia ser transmitida por contacto a longas distâncias, escrevendo o seguinte, quando utilizou uma bola de marfim ligada a fios de metal com 10 metros de comprimento:

“Quando a linha transportando a virtude eléctrica estava suportada pelas linhas ou fios metálicos e quando o eflúvio chegava aos fios de suspensão, ele passava para esses fios aos postes e assim não ia mais longe sobre a linha que o devia conduzir à bola de marfim”.

Com a ajuda de um vizinho, um abastado cientista amador, Granville Wheler (1701-1770)⁵⁹, conseguiu transportar electricidade ao longo de 195 m de corda sólida suspensa de cordas de seda montadas em postes no seu pomar. A descoberta da condução eléctrica fornecia provas da existência de um “fluido”

⁵⁸ Instituição fundada em 1660 para a divulgação da Ciência e onde os investigadores publicavam as suas descobertas nas actas da Academia.

⁵⁹ Após a morte de Gray, continuou com as experiências, dedicando-se essencialmente à repulsão.

eléctrico e representava uma oportunidade para demonstrações espectaculares, tão em moda naquela época⁶⁰. Gray decidiu também (já tinha experimentado uma série de materiais diferentes) investigar o que é que acontecia com o corpo humano e no dia 8 de Abril de 1730 utilizando um rapaz de 8 anos com 21 kg, suspenso por cordas de seda, conseguiu que o corpo humano atraísse corpos leves. Gray e Wheler electrificaram por condução o rapaz suspenso do tecto, que conseguia atrair objectos com todas as partes do corpo, em 1732 mostrou que era possível passar o efeito entre dois jovens que estivessem de mão dadas.

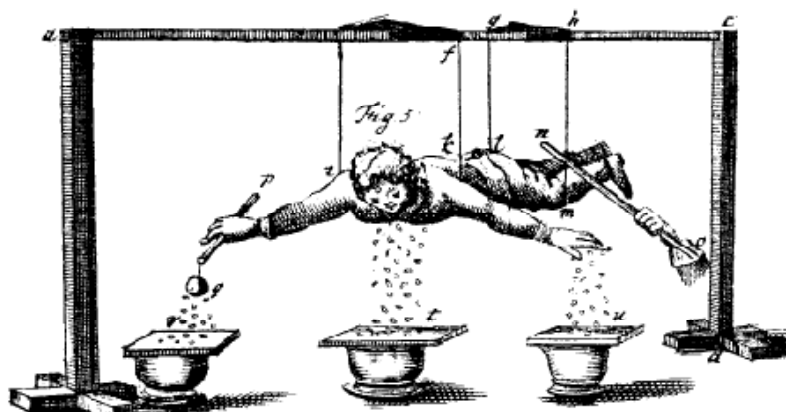


Figura 37 - O rapaz electrificado de Stephan Gray. Experiência realizada em 1730 para provar que o corpo humano é condutor da electricidade.

Gray chega à electrização por influência e mostrou que a propriedade eléctrica se pode propagar à distância, estava descoberto a condução eléctrica.

1.1.6. Charles Dufay

O passo seguinte mais significativo em termos de electricidade foi dado não por um inglês, mas por um francês, Charles Dufay ou Du Fay (1698-1739), um jovem oficial de infantaria que conduziu as suas investigações científicas com um domínio das anteriores e um nível de organização que estavam completamente ausentes das experiências de Gray, ou seja, organizou o trabalho dos anteriores investigadores e corrigiu alguns erros cometidos. Dufay experimentou de forma sistemática, diferentes materiais para verificar quais podiam ser electrificados. Conseguiu electrificar tudo o que podia ser electrificado, excepto os metais, que electrificou por indução, ou seja, aproximando o tubo de vidro do objecto a electrificar, que estava colocado sobre um suporte isolado, obtendo uma carga

⁶⁰ Estamos a falar do movimento cultural e intelectual que se estabelece na Europa no séc. XVII e XVIII, o Iluminismo. Fazem parte deste movimento alguns estudiosos da ciência, Newton, Robert Hooke, Pascal, Lavoisier.

do outro lado do objecto e retirando em seguida o tubo de vidro. Dufay descobriu que se molhasse uma corda ela conduzia melhor do que o vidro, era mais isolante do que a seda, que os corpos atraídos eram efectivamente repelidos depois de tocarem o tubo de vidro e, acima de tudo, que parecia haver dois tipos de electricidade e não apenas um. A electricidade produzida através da fricção de uma substância vítrea (como o vidro) atraía a electricidade produzida pela fricção de uma substância resinosa (como o âmbar). Cada tipo de electricidade repelia a electricidade do seu próprio tipo.

Em 1733 Dufay chamou a estas electricidades “vítrea” e “resinosa”, de acordo com os tipos de substâncias que eram friccionadas para as produzir. Mais tarde estes dois tipos de electricidade seriam identificados como “positivo” e “negativo”. Em 1745, o Abade Jean Nollet (1700-1770) passou a atribuir a origem dos fenómenos eléctricos ao movimento em sentidos opostos de duas correntes de fluidos “muito subtis e inflamáveis” Nollet supôs que esses fluidos estivessem presentes em todos os corpos e explicou porque razão alguns corpos eram repelidos e outros atraídos por um corpo previamente eletrizado.

Na época em que a electricidade começou a ser estudada e as primeiras máquinas electrostáticas começaram a ser construídas não se sabia nem a origem deste fenómeno nem que aplicações úteis poderiam vir a ter. Como era algo totalmente novo, as pessoas sentiam muita curiosidade a seu respeito. Inventaram-se então várias “brincadeiras” com electricidade. A emissão de faíscas, por exemplo, era um espectáculo muito apreciado; mas existia outra coisa que todos gostavam ainda mais: levar choques! Por exemplo uma das diversões da época era o darem as mãos formando uma corrente, e aquela que estivesse numa das extremidades colocava a sua mão livre sobre uma máquina electrostática carregada. Como o corpo humano é bom condutor da corrente eléctrica, todos sentiam o choque⁶¹, e achavam engraçadíssimo! Era uma brincadeira muito praticada nos grandes salões e na corte e Nollet utilizava-a para divulgar o conhecimento científico

⁶¹ Estes choques não eram fatais porque a electricidade produzida pelas máquinas electrostáticas era de baixa tensão.

1.1.7. Benjamim Franklin

Uma perspectiva diferente tinha Benjamim Franklin (1706-1790). Nasceu em Boston, filho de um fabricante de velas. Apesar de ter frequentado a escola durante pouco mais de um ano, aprendeu sozinho Ciências, Filosofia e Línguas revelando desde cedo capacidades prodigiosas. A sua vida pautou-se por inúmeros feitos em diversas áreas. Foi cientista e inventor, filósofo e estadista, escritor e editor, filantropo e diplomata⁶² Mas como cientista e estadista que o seu génio se salientou. Interessou-se pelo estudo da ciência aos 40 anos (os seus estudos sobre a electricidade foram iniciados em 1746). Não estava satisfeito com as pequenas faíscas que obtinha quando friccionava borracha num pano de algodão e nesta altura já tinha conhecimento de que outros experimentadores tinham descoberto que, se colocassem uma agulha pontiaguda perto de uma esfera de metal electrificada, o “fogo” saía da esfera para a ponta aguçada cobrindo uma distância que podia ir até aos 2,5 cm. Na escuridão, observavam um brilho na ponta, tendo descoberto, posteriormente, que a esfera tinha perdido a sua electricidade.



Figura 38 - Em 1752, Benjamin Franklin descobre a electricidade atmosférica e inventa o pára-raios. Com a famosa experiência do 'papagaio' demonstra que o relâmpago é fenómeno eléctrico.

Esta experiência sugeriu-lhe mais tarde o pára-raios e em 1752, lançou um papagaio de papel na direcção de nuvens carregadas para recolher electricidade (neutralizar), antes que pudesse provocar um relâmpago⁶³. O papagaio de Franklin tinha um arame aguçado atado à estrutura para atrair a electricidade. O

⁶² Redigiu com Jefferson e John Adams o Manifesto da Declaração da Independência dos E.U.A., em 1776, deu o impulso à sociedade abolicionista e foi embaixador em França entre 1776 e 1785).

⁶³ Não era uma experiência original, pois nesta altura já experimentadores franceses tinham conseguido o mesmo efeito.

fio do papagaio molhado conduzia a electricidade para a chave, que estava isolada da mão de Franklin através de uma fita de seda. Franklin era capaz de extrair o “fogo” a partir da chave e mostrar que funcionava exactamente da mesma forma que a electricidade produzida por fricção, além de que conseguiu carregar deste modo uma garrafa de Leyden⁶⁴



Figura 39 - Garrafa de Leyden

Os seus estudos foram registados no livro “Experiments and Observations on Electricity Carried Out at Philadelphia in América”, publicado em 1751 em Londres, o que lhe facilitou a entrada como membro da Royal Society de Londres (1756) e membro associado da Academie Royale des Sciences em Paris (1666-1793)⁶⁵. Postulou que a electricidade vítrea era o único tipo de fluido eléctrico, que se movimentava ao longo dos condutores⁶⁶ e que os dois tipos de electrificação correspondiam ao excesso ou deficiência desse fluido. Em consequência disso, identificou o corpo com excesso de electricidade vítrea (barra de vidro friccionada), o carregado positivamente, enquanto o corpo com deficiência de fluido (onde se friccionou a barra de vidro), ficava carregado negativamente. Assim quando estes corpos entram em contacto, o fluido eléctrico desloca-se do corpo com excesso de fluido para o outro com falta de fluido. Esta teoria do fluido único que se transferia de corpo para corpo,

64 Este instrumento foi inventado na cidade de Leyden, na Holanda, há mais de dois séculos. A garrafa de Leyden tem o comportamento de um reservatório que pode conter grandes quantidades de electricidade. A história dá a conhecer dois inventores do aparelho que actualmente tem a designação de condensador (capacidade de armazenar, condensar energia): o bispo da Pomerânia, região da Polónia, Ewald Jürgen von Kleist (1700-1748) e o professor holandês da Universidade de Leyden Pieter van Musschenbroek (1692-1761). Tudo parece ter acontecido quando carregavam electricamente um pequeno jarro, cheio de água, onde acidentalmente teriam deixado um fio de latão ligado a um Gerador equivalente ao de Guericke. Ao tocarem nele, receberam violentos choques, sensação desconhecida na época, dizem que o próprio Musschenbroek jurou que nunca mais repetiria a experiência, “*nem que lhe oferecessem o reino da França*”. O jarro ficou conhecido como a garrafa de Leyden.

65 Posteriormente Institut National des Sciences et des Artes (1795-1816) e Académie des Sciences, Institut de France (1816 até à actualidade).

66 Devemos os termos como bateria, carga eléctrica, condensador e condutor a Benjamin Franklin.

explicava a maior parte dos fenómenos eléctricos, a atracção, repulsão, produção de faíscas, condução e a indução. Assim quando dois corpos, um com excesso, outro com deficiência de fluido eléctrico entram em contacto, a corrente eléctrica desloca-se do primeiro corpo, onde há excesso para o segundo corpo onde existe deficiência.

Os trabalhos de Franklin fizeram dele, um dos maiores cientistas da época e contribuíram para que outros, em ambos os lados do Atlântico, continuassem os estudos em Electricidade.

1.1.8. Charles Augustin Coulomb

Durante a segunda metade do séc. XVIII, físicos em diversos pontos do mundo dedicaram-se ao estudo de fenómenos eléctricos e magnéticos, mas uma das mais importantes descobertas foi feita pelo francês Charles Augustin Coulomb⁶⁷ que, pela primeira vez, transformou estes estudos em ciência quantitativa. É ele que formula a lei do inverso do quadrado das distâncias para as interacções de cargas eléctricas e inicia o estudo experimental e teórico da distribuição da electricidade na superfície de um condutor. Toda essa série de investigações é o início de um dos períodos mais profícuos da História da Ciência, que culminará com a invenção da pilha por Alessandro Volta.

Coulomb (1736-1806), começou a sua carreira como engenheiro militar em 1761, durante 20 anos viajou muito, envolvido em obras de engenharia, construção de fortificações, etc. Com os conhecimentos que tinha das propriedades de diversos materiais, construiu bússolas para barcos e inventou a “Balança de Torção” (1777) e com ela estabelece as primeiras leis quantitativas da história da electricidade e do magnetismo.

A balança de Coulomb tem 1 metro de altura e é constituída por um tubo cilíndrico assente noutro cilindro oco mais largo, ambos em vidro. No topo existe um micrómetro e um sistema de fixação de um fio de prata, este passa no

⁶⁷ Charles Augustin de Coulomb nasceu a 14 de Junho de 1736 em Angoulême, França. Estudou Matemática, Astronomia, Química e Botânica no Collège Mazarin, em Paris e formou-se em Engenharia Militar na École du Génie, em Mézières. Entre 1764 e 1772 esteve destacado em Martinica, nas Caraíbas, para supervisionar os trabalhos de construção do Forte Bourbon e aí realizou inúmeras experiências sobre mecânica de estruturas, atrito em maquinaria e elasticidade dos metais e das fibras de seda. Por motivos de saúde, regressou a Paris, em 1773, e a partir desta data dedicou-se exclusivamente à experimentação. O seu primeiro artigo científico, “Sur une application des règles, de maximis et minimis à quelque problèmes de statique, relatifs à l'architecture”, datado de 1773, contribuiu decisivamente para a utilização de cálculos precisos e rigorosos no âmbito da Engenharia.

interior do tubo mais estreito e sustenta na extremidade um peso e um braço horizontal. Numa das extremidades do braço, está uma bola de medula de sabugueiro com 5 mm de diâmetro e na outra extremidade um disco de papel com funções de equilíbrio do braço e de redução de oscilações. O outro fio suportando uma esfera idêntica está introduzido no cilindro inferior e está fixa. No interior e a meio da parede do cilindro inferior existe um papel com uma escala graduada. O "zero" do aparelho obtêm-se alinhando visualmente o primeiro fio com o zero da escala com o zero da escala graduada, rodando o micrómetro. As duas esferas devem ficar em contacto. Quando não existem forças a actuar, a barra assume uma determinada posição de equilíbrio.

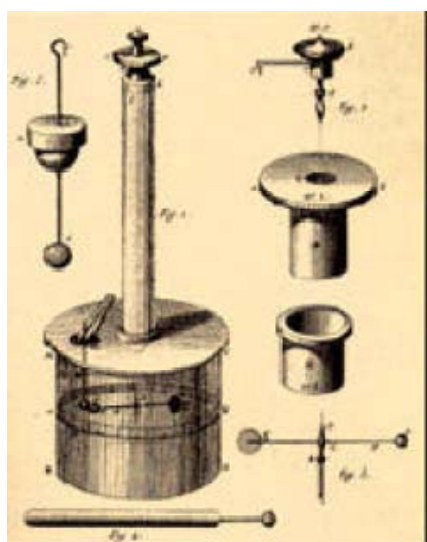


Figura 40 - Gravura de época ilustrando os constituintes da balança de torção e o exemplar que se encontra no Museu de Física da Universidade de Coimbra.

Se uma das esferas está electricamente carregada e uma outra esfera carregada é colocada na sua vizinhança, a força eléctrica actua na esfera móvel provocando o movimento da barra em redor do ponto de suspensão até que a força de torção irá equilibrar-se com a força actuante. Uma vez que o fio é muito fino (o fio torce, daí balança de torção), basta uma pequena força a actuar na esfera para que produza um considerável desvio da barra relativamente à sua posição original, o ângulo de rotação será, proporcional à força. Carregando as esferas, a móvel e a imóvel com quantidades variáveis de electricidade e

variando a distância entre elas, Coulomb descobriu a lei⁶⁸ que tem o seu nome, datada de 1785, que postula: a intensidade da força entre duas partículas possuindo carga eléctrica é proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas, sendo atractiva para cargas de sinal oposto e repulsiva para cargas do mesmo sinal.

$$F = K \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Em que **K** é a Constante de Coulomb e no S.I. tem o valor de $8,9875 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$, "**F**" é a intensidade da força exercida, **q₁** e **q₂**, valores da carga eléctrica de 2 corpos carregados, "**r**" distância entre os dois corpos.

Utilizando a mesma balança e suspendendo uma barra de íman no fio e um outro colocado na sua vizinhança, mas na vertical, Coulomb confirmou que a Lei de Coulomb aplica-se também às interacções magnéticas.

É de referir que Coulomb numa primeira fase dos seus estudos, trabalhou exclusivamente com forças repulsivas, posteriormente utilizou esferas carregadas com sinais opostos, assim como corpos magnetizados, mas para estes ensaios teve que modificar a balança original. Observou que se comportavam do mesmo modo que as esferas carregadas, mas não chegou à conclusão que os fluidos eléctricos e magnéticos eram idênticos.



Figura 41 - Charles Coulomb (1736-1806)

⁶⁸ Em 1769, Jonh Robinson (1739-1805) em Glasgow, mediu a repulsão entre cargas com um aparelho que comparava a repulsão eléctrica com a atracção gravitacional. Conseguiu mostrar que as forças eléctricas são proporcionais ao inverso do quadrado da distância dos corpos carregados.

Parece existir um problema de origem histórico, após Coulomb ter chegado à sua Lei, os seus contemporâneos tentaram reproduzi-la utilizando a balança de torção e não o conseguiram, pelo que se tornou muito complicado fazer passar as ideias de Coulomb, principalmente à Academia Francesa. Na época dizia-se que este se baseou fundamentalmente na Lei de Newton da Gravitação nos ensaios por ele realizados e que não trazia nada de novo. Apesar de tudo a balança de torção de Coulomb marca o início dos estudos quantitativos na electricidade e no magnetismo. Os trabalhos de Coulomb permitiram posteriormente definir, exactamente o valor da carga eléctrica de um corpo e a sua densidade eléctrica. Johann Tobias Mayer (1723-1762)⁶⁹ já tinha enunciado esta lei para as forças magnéticas, em 1760, dois anos depois foi a vez de Cavendish mas para as forças eléctricas. Infelizmente para cada um deles, apenas com evidências parciais.

Na mesma altura destes acontecimentos, mas em Inglaterra, um solitário e temperamental indivíduo, filho de um nobre inglês, cujo nome era Henry Cavendish (1731-1810), sem amigos, sem família e desinteressado de tudo o que o rodeava, excepção feita à ciência, passava todo o seu tempo a fazer experimentação tanto em Física como em Química no seu laboratório privado, localizado na sua mansão em Chapham Common perto de Londres. Ocasionalmente saía para se deslocar aos jantares do Royal Society Club, do qual se tornou membro em 1760 com um único objectivo de trocar informações com outros físicos e químicos presentes. Em vida publicou alguns artigos não muito importantes, só depois da sua morte, os seus descendentes encontraram um conjunto de manuscritos que constituíam os seus apontamentos de laboratório. Estes ficaram durante muito tempo nas mãos dos familiares que só alguns anos após a sua morte decidiram publicar e foi James Clerk Maxwell⁷⁰ que em 1879 editou o livro pela Cambridge University Press com o título "The Electrical Researches of Henry Cavendish". Nessa altura ficou claro para todos, que Cavendish tinha sido um dos maiores experimentalistas da época. Definiu grau de electrização (correspondente ao potencial eléctrico), descobriu as leis da electricidade e das interacções magnéticas ao mesmo tempo que Coulomb,

⁶⁹Astrónomo amador e autodidacta alemão, nasceu em Württemberg, distinguiu-se no estudo dos movimentos da Terra e da Lua e desenvolveu tabelas lunares que ajudaram os navegadores nas suas viagens. Enunciou a lei dos inversos dos quadrados que regem as forças eléctricas e magnéticas, mas somente para as forças magnéticas, em Goettingen.

⁷⁰Fundamental no estudo matemático da Indução Electromagnética.

descobriu o “ar inflamável”, o hidrogénio e “fixou o ar”, o dióxido de carbono etc. Com um aparelho construído pelo reverendo Jonh Michell⁷¹ estudou as forças gravitacionais entre objectos pequenos e chegou a um valor muito aproximado para a densidade média da Terra. Não tem nenhuma unidade de medida com o seu nome, como era habitual na época, mas o Laboratório Cavendish em Cambridge é um dos mais prestigiados do mundo no que diz respeito à investigação científica.

Tudo indica que 1785, foi o ano de referência para a análise matemática dos fenómenos eléctricos, alguns historiadores consideram-no como o ano da entrada na Ciência Moderna.

1.1.9. Luigi Galvani

Em meados do século XVIII, a electricidade começa a ser utilizada em Medicina, tendo o abade Nollet realizado algumas experiências em doentes paralisados, no Hospital de La Charité em Paris, com a garrafa de Leyden, tendo-se deslocado a Itália para observar os seus colegas que já a utilizavam desde 1748.

Em 1783, o médico e físico italiano Luigi Galvani observou que suspendendo rãs com ganchos de cobre numa barra de ferro, provocava contracções nos músculos das pernas de cada rã na ocasião em que era suspensa e interpretou o fenómeno como sendo causado por um fluido invisível, a que chamou “electricidade animal”. Os naturais de África e da América do Sul já estavam habituados a encontrar um peixe nos rios, que produzia choques a quem o tocava. Em meados do séc. XVIII um barco inglês trouxe algumas exemplares para Londres, a fim de serem analisados e estudados, dadas as suas características peculiares. Verificaram que o choque se dava quando se tocava ao mesmo tempo na cabeça de uma enguia e no lado inferior do seu corpo. Este facto e a sensação



Figura 42 - Luigi Galvani (1737-1798)

⁷¹ Geólogo e astrónomo inglês (1724-1793), foi eleito membro da Royal Society no mesmo ano de Cavendish. Há quem diga que foi o construtor da primeira balança de torção, mas ainda não se confirmou este facto.

de choque eram semelhantes ao que se obtinha com a garrafa de Leyden que tinha sido descoberta na mesma altura. Quando se conseguiu provar que a enguia podia ser utilizada para carregar uma garrafa de Leyden, todas as dúvidas se desfizeram. A Electricidade produzida por peixes⁷² atraiu a atenção Luigi Galvani, professor de Anatomia na Universidade de Bolonha que estudou fenómenos ligados à contracção dos músculos nas pernas de rãs dissecadas, quando estes eram tocados com arames formados por dois metais diferentes.

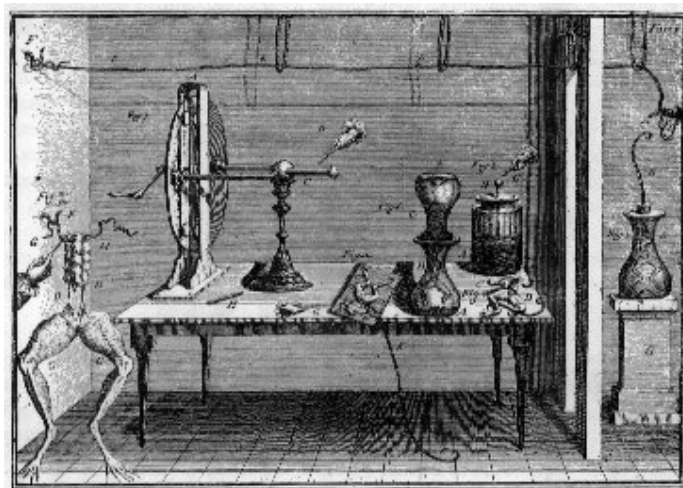


Figura 43 - Laboratório de Galvani, sobre a mesa encontra-se uma máquina electrostática, à direita uma garrafa de Leyden e à esquerda as pernas de uma rã. As primeiras observações ocorreram por acaso, quando uma rã era dissecada próximo de uma máquina electrostática.

Provou que estas contracções não resultavam de uma estimulação mecânica do nervo ciático, mas podiam envolver electricidade e referia que eram semelhantes ao que acontecia com a enguia, daí a designação de "Electricidade Animal", diferente da electricidade produzida por fricção (1791). Publicou o seu trabalho na Academia de Ciências de Bolonha e mandou imprimir panfletos para distribuir pelos seus colegas cientistas. Mas estava enganado, o seu amigo Alessandro Volta que recebeu um desses panfletos, repetiu a experiência, convencido pelos colegas de Anatomia e de Patologia da sua Universidade, confirmou que a estimulação era do tipo eléctrico, mas não concordou com a sua natureza. Rapidamente provou que a corrente eléctrica que causava a contracção das pernas de rã podia ser observada sempre que dois fios metálicos diferentes

⁷² A existência de peixes eléctricos já era conhecida na Antiguidade e foi descrita por vários autores, nomeadamente filósofos gregos como Cícero, Aristóteles, Plínio, Platão. Apesar de serem numerosas as espécies e variedades de peixes eléctricos, estes são actualmente agrupados em três famílias – torpedos ou raias, enguias e peixe-gato.

entravam em contacto, não existindo efeitos de atracção nem repulsão e a intensidade das contracções dependeriam dos diferentes metais utilizados. Os metais não podiam produzir “Electricidade Animal”, simplesmente os músculos serviam para detectar electricidade, funcionavam como um electroscope. Esta situação esteve envolvida em grande polémica como era de se esperar, pois uns acreditavam na electricidade animal de Galvani e outros em Volta, tendo-se então formado na época duas “escolas” diferentes, constituídas por cientistas que tomaram posições diferentes sobre o assunto, uns a favor de Galvani, outros a favor de Volta, criando-se uma grande rivalidade entre as Universidades de Bolonha e de Pavia.

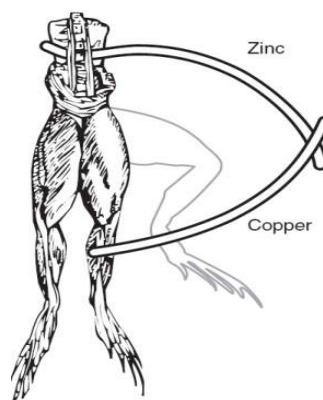


Figura 44 - Pernas de rã a sofrerem contracções, quando tocadas por um par de metais diferentes (linhas mais claras).

Apesar destas controvérsias, promoveu a discussão, o que naturalmente contribuiu para a evolução da electricidade e da futura construção da Pilha de Volta.

1.1.10. Alessandro Volta

Volta (1745-1827), designou o fenómeno observado por Galvani, “galvanismo” em honra deste e construiu após muitas tentativas, o que conhecemos hoje com o nome de Pilha de Volta, ou Pilha Voltaica, precursora das pilhas actuais.

Apesar de Volta descender de uma família nobre, o pai não soube gerir a fortuna de família, quando Volta nasceu, esta estava em grandes dificuldades financeiras, de tal modo que os irmãos seguiram todos a carreira eclesiástica. Mas Volta cedo demonstrou a sua grande inteligência, sabia falar fluentemente várias línguas, interessou-se desde cedo pela Ciência, (apesar do tio com quem ficou após a morte dos pais, querer que estudasse leis) Filosofia, Poesia e

Drama, completou os estudos com dezasseis anos no Seminário Real em Como e é aqui que começa a dedicar a sua atenção à Física, Química e Electricidade. Aos dezoito anos começa a corresponder-se com o padre Nollet⁷³ em Paris e com Joseph Priestley⁷⁴ (1733-1804) em Inglaterra, ambos experimentalistas em electricidade. Com trinta anos é eleito Reitor da Escola Real de Como e inicia uma grande e promissora carreira académica de tal modo que em 1778, passa a leccionar na Universidade de Pavia (fundada em 1361) a cadeira de Física Experimental e fá-lo durante quarenta anos, tornando esta Universidade uma das mais famosas na época, não só porque se tornou um professor muito popular, mas também porque reforçou e equipou o laboratório com uma grande colecção de instrumentos científicos. Em 1775, anuncia a descoberta do electróforo⁷⁵, funcionava por indução electrostática e tinha múltiplas utilizações, produzia e armazenava cargas eléctricas por fricção, assim como as avaliava, mas de modo qualitativo. Actualmente não tem qualquer aplicação prática mas ainda se utiliza para fins didácticos em demonstrações de electricidade estática. Mas a necessidade de encontrar relações entre os diversos fenómenos que foram sendo descobertos no estudo da Electricidade, obrigou ao desenvolvimento de instrumentos que permitisse medir e detectar a presença de cargas eléctricas num corpo, assim como comparar o estado de electrização de diferentes corpos⁷⁶.

⁷³ Primeiro professor de Física Experimental na Universidade de Paris e construtor de equipamentos eléctricos. Foi assistente de Dufay e responsável pela educação da família real francesa

⁷⁴ Filósofo natural, professor e político inglês, publicou mais de 150 obras. Joseph Priestley fez a sua primeira grande descoberta em 1767. Descobriu que a grafite podia conduzir electricidade. Mais tarde descobriu um gás que quando misturado com a água a tornava de sabor ácido e picante (esse gás foi mais tarde identificado como dióxido de carbono). Inventou a água gaseificada artificialmente. Por esta invenção foi eleito para a Academia das Ciências Francesa, em 1772. Em 1772, Priestley fez outra descoberta importante, colocou uma pequena planta dentro de um recipiente com água, tapou esse recipiente e deixou arder uma vela até esta se apagar. Joseph Priestley tornou-se a primeira pessoa até então a observar a respiração das plantas - recebiam dióxido de carbono e libertavam oxigénio. Em 1774, Priestley colocou um pedaço de óxido de mercúrio dentro do mesmo recipiente, estudou o gás que se libertou, este gás fazia com que a chama da vela se tornasse mais brilhante, tinha descoberto o oxigénio. Priestley contou a sua descoberta ao químico francês Lavoisier que repetiu a experiência e deu o nome a esse gás - oxigénio.

⁷⁵ Era constituído por dois discos metálicos, o inferior estava revestido por um material isolante, o disco superior possuía uma haste isoladora que permitia manipulá-lo. O aparelho era inicialmente carregado colocando-se os discos em contacto com a garrafa de Leyden ou com um gerador electrostático, de seguida ambos os discos eram colocados em contacto com a mão ou outro condutor. Quando se erguia o disco superior, verificava-se que estava carregado, assim como o material isolante do inferior, esta carga podia ser novamente recolhido pela garrafa de Leyden. O processo podia ser repetido se o disco superior fosse colocado sobre o inferior e novamente tocados, por esta razão este aparelho era também designado por "The perpetual carrier of electricity".

⁷⁶ Foi em 1747, que o Abade Jean Nollet apresentou o seu electrómetro, actualmente não existe diferença entre electrómetro e electróscópio, ambos detectam corpos eletrizados, mas no séc. XVIII, o primeiro era um electróscópio com escala, media e o segundo detectava electricidade.

Em 1780, Volta aperfeiçoou o Electróforo e chamou ao seu novo instrumento Electrómetro de Condensação ou Condensador, divulgado em 1782. Este aparelho era capaz de concentrar cargas eléctricas de modo a amplificá-las e poder assim observar e medir as fracas tensões. As técnicas de medição encontram-se registadas nos seus apontamentos⁷⁷, onde também já constava um grande esforço na análise matemática dos dados por si recolhidos.

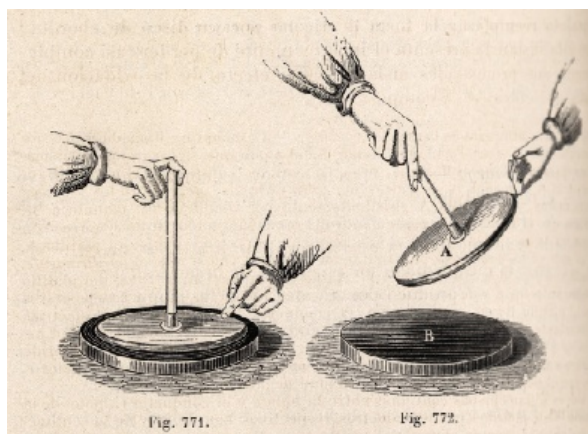


Figura 45 - Electróforo construído por Volta

Nesta época já era bastante comum, os investigadores saírem do seu próprio país para contactarem com outras formas de fazer ciência e aprenderem novas metodologias e competências. Volta sentiu essa necessidade e fê-lo por diversas vezes, visitando alguns amigos com quem se correspondia e conhecendo outros, por toda a Europa, com o objectivo de trocar experiências e manter-se em permanente actualização, pois os meios de comunicação eram limitados, as publicações científicas eram raras, assim como a realização de Congressos de divulgação científica. Para Volta, Paris era a cidade da Ciência, foi lá que no ano de 1782, conheceu Laplace, Lavoisier, Berthollet e o mais importante no campo da electricidade, Benjamin Franklin. Nesse mesmo ano deslocou-se a Londres onde tomou conhecimento da sua nomeação como correspondente da Royal Academy of Sciences de Paris. Em Londres fica impressionado pela intensa actividade industrial⁷⁸, visita as Universidades de Cambridge, Oxford, o Royal Observatory de Greenwich, encontra-se com os seus amigos Priestley e Tiberius

⁷⁷ Estas informações, encontram-se no livro de Pancaldi "Volta-Science and Culture in the Age of Enlightenment".

⁷⁸ Foi em Londres que nasceu a Revolução Industrial, responsável em grande parte pela evolução da experimentação e medição em ciência.

Cavallo⁷⁹, conhece o famoso James Watt⁸⁰ e contacta com membros da Royal Society, da qual se torna membro em 1791. A sua fama de experimentador e inovador, nas áreas da Electricidade, da Física e da Química correu mundo, tendo chegado a Londres através de Cavallo que traduzia para inglês os documentos produzidos por Volta. Entretanto incentivado pelos trabalhos de Galvani e tentando explicar o que este observou, combinou pares de metais diferentes e chegou à conclusão que a electricidade que era gerada estava relacionada com os diferentes metais utilizados. Descobriu ainda que nem todos os metais se comportavam do mesmo modo, nesse sentido elaborou uma lista de metais, que se iniciava com o zinco continuando com o estanho, chumbo, ferro, cobre platina, ouro, prata e por fim a grafite, publicou-a em 1794, esta lista é designada actualmente por Série Electroquímica. Com o Electrómetro⁸¹ que construiu, conseguiu perceber que os diferentes metais possuíam electricidade de dois tipos. A partir dessa constatação estudou o comportamento eléctrico de pares de diferentes metais e de diversos líquidos. Utilizando um grande número de discos, alternados de prata e zinco separados por camadas de flanela embebido em salmoura (solução saturada de água salgada) até uma altura aproximada de 30 cm, agrupou vários discos numa “pilha”, o terminal positivo seria o disco do fundo e o terminal negativo, o do topo.

⁷⁹ Físico e Filósofo Natural, nasceu em Nápoles em 1749 e morreu em Londres em 1809. Saiu da sua terra e foi para Londres com a intenção de se tornar comerciante, mas a sua atenção foi desviada para a investigação científica, aperfeiçou e construiu instrumentos científicos, publicou diversas obras em diferentes áreas da Física, descobriu o documento elaborado por Peregrinus que se encontrava desaparecido há muito. Foi o primeiro a envolver o electróscópio num recipiente de vidro a fim de reduzir o efeito das correntes de ar.

⁸⁰ Construtor de Instrumentos Científicos na Universidade de Glasgow e Engenheiro (1736-1819), desenvolveu a moderna máquina a vapor. Em 1757 abriu uma loja onde fabricava e vendia os instrumentos. Ele próprio instalava as máquinas em minas, tecelagens, moinhos, etc., foi uma das grandes responsáveis pelo sucesso da revolução industrial. Foi membro estrangeiro da Academia Francesa das Ciências e enriqueceu à custa da sua máquina a vapor.

⁸¹ Constituído por uma esfera de latão que comunica com o interior através de uma haste do mesmo material e na qual se encontram suspensas duas folhas de ouro. Ao aproximar-se da esfera, um corpo eletrizado, sem a tocar, as folhas de ouro repelem-se entre si, como resultado de uma distribuição de cargas eléctricas induzidas pelo corpo eletrizado. A esfera fica carregada com uma carga eléctrica de sinal contrário à do corpo eletrizado e as folhas com uma carga de sinal contrário à da esfera.



Figura 46 - Pilha de Volta

A Pilha de Volta foi o protótipo das pilhas usadas actualmente e foi a primeira bateria construída que realmente produzia corrente eléctrica estável, o primeiro gerador de corrente eléctrica.

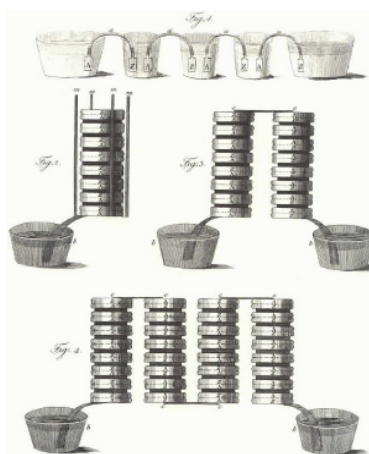


Figura 47 - Ilustração desenhada por Volta na carta que escreveu a Joseph Banks, mostrando as várias variações da futura Bateria⁸².

A 20 de Março de 1800, Volta envia uma carta (esta carta foi dividida em duas devido à Guerra entre Inglaterra e França, chegando em alturas diferentes), a Sir Joseph Banks, na época presidente da Royal Society, a descrever a sua grande descoberta para ser publicada pela Royal Society, esta instituição era na altura o centro de inovações científicas e nessa carta dizia mais ou menos o seguinte:

"O aparelho que construí e que o deixará surpreendido não é mais que um conjunto de bons condutores colocados com uma determinada disposição, um

⁸² Na época em que Volta inventou a sua pilha, dava-se o nome de bateria a certos conjuntos de garrafas de Leyden interligadas e capazes de armazenar uma grande quantidade de electricidade.

disco de cobre ou ainda melhor de prata sobre um de estanho ou zinco e igual número de camadas de feltro, pele ou flanela embebidos numa solução aquosa salina, sempre pela mesma ordem, até a uma altura de 30 cm (metal, feltro embebido em solução aquosa, metal), este conjunto constitui o meu novo instrumento; o qual de um certo modo é equivalente à garrafa de Leyden mas com outras potencialidades...”

Volta acreditava que a electricidade que era produzida nos extremos da pilha era devido à existência de metais diferentes, toda a química que estava por detrás desta descoberta ainda era desconhecida de Volta, só alguns anos mais tarde foi estudada, nomeadamente por Auguste Arthur de La Rive⁸³ e Michael Faraday.

Volta passou por algumas dificuldades, os editores oficiais da Real Society em vez de colocarem o nome de Volta como autor deste invento, colocaram o deles.



Figura 48 - Volta a realizar uma demonstração das potencialidades da sua pilha em 1801 em Paris, perante membros da Academia de Ciências e Napoleão Bonaparte.

O cirurgião Antony Carlisle (1768-1840) e o químico William Nicholson (1753-1815) construíram uma pilha constituída por 36 elementos de acordo com as instruções de Volta na primeira parte da carta e colocaram-na ao serviço da Química. Conseguiram separar a água nos seus dois componentes gasosos (1800), hidrogénio e oxigénio, não foram os primeiros, mas foram eles que identificaram os gases que se formaram, oxigénio e hidrogénio. Segundo Gamow, ambos teriam sido acusados de plágio, desaparecendo da cena científica⁸⁴. Na época eram frequentes situações como esta, pois além da Electricidade ser um campo de estudo muito vasto, existiam muitos

⁸³ Físico, nasceu na Suíça em 1801 e morreu em França em 1873.

⁸⁴ In "The Age of electricity", Gamow

investigadores, uns mais honestos do que outros, a trabalhar no assunto, muitas descobertas se faziam, umas mais confiáveis do que outras. Como tal quem conseguia publicar os artigos nas diversas Academias de Ciência, ficava com autor do feito. Na altura em que a pilha de Volta foi divulgada, outros investigadores trabalhavam em projectos semelhantes, como William Nicholson, Robertson (Físico amador e “showman”)⁸⁵, Johann Ritter⁸⁶ (1776-1810) e Oersted.

Mas o sucesso de Volta não foi total, pois as pilhas por ele construídas nunca conseguiram produzir tensões muito altas e teria que ter construído pilhas gigantescas para o conseguir, além de que nunca conseguiu defender totalmente que o galvanismo não tinha nada a ver com a electricidade, tal como ele pensava. George Starton⁸⁷ (1940-1951), professor de História da Ciência na Universidade de Harvard, refere sobre esta notável descoberta:

“Podemos comparar esta descoberta com a do telescópio ou do microscópio que foram fundamentais dois séculos antes, com a diferença que com ambos podemos ver coisas que dantes não conseguíamos ver, mas que sempre existiram, pelo contrário a Pilha de Volta é um instrumento criativo, pois abriu ao Homem novas e incomparáveis fontes de energia”.

Hoje a Pilha de Volta e a unidade de tensão eléctrica, o Volt, (1881, International Electrical Congress em Paris) não nos deixa esquecer este talentoso investigador e tal como outros instrumentos tornou-se num grande auxiliar no estudo dos fenómenos eléctricos e magnéticos. No entanto ao contrário da electricidade obtida por fricção, a nova electricidade galvanica possuía baixa voltagem.

Ao mesmo tempo que se realizavam investigações no âmbito da electricidade, o fenómeno do magnetismo não foi esquecido, havia evidências de que existia alguma relação entre ambos, foi entretanto acrescentada mais uma analogia, a pilha tem dois pólos opostos (positivo e negativo), assim como o íman (sul e norte). É natural então que alguém pensasse numa possível ligação entre a pilha

⁸⁵ São indivíduos dedicados ao estudo da Ciência, experimentalistas e que gostavam de dar nas vistas, organizando serões para divulgar a ciência. Na época as demonstrações de física experimental tornaram-se tão apreciadas que os nobres se divertiam assistindo a verdadeiros espectáculos promovidos por físicos e químicos.

⁸⁶ Químico e Físico alemão, trabalhou na área da electroquímica e em radiações, onde fez descobertas importantes.

⁸⁷ Nasceu na Bélgica em 1884 e morreu nos EUA em 1956, para onde tinha imigrado em 1915. Foi uma das mais importantes figuras da História da Ciência, fundou as revistas ISIS em 1912 e OSIRIS em 1936, tendo escrito bastantes artigos e livros sobre o assunto.

e o íman e tivesse atento à produção de efeitos eléctricos com um íman e vice-versa. A realidade é que até 1800 não foi encontrada qualquer associação entre a Electricidade e o Magnetismo.

Os observadores dos fenómenos magnéticos compararam desde o início, a acção da magnetite com a acção atractiva da Terra. De certa forma foram perspicazes para a época, porque tanto a Terra como os ímanes criam campos de forças e era isso mesmo que estava na base da sua comparação, apesar de isso ainda não ser entendido. Conhecia-se um terceiro caso em que se manifestavam forças atractivas em certos materiais, o âmbar, o vidro, as resinas e o enxofre, quando friccionados também adquiriam a propriedade de atrair corpos. Actualmente chamamos campos de forças eléctricas. Anteriormente a Volta não se relacionaram os fenómenos eléctricos e os magnéticos, somente os magnéticos com os gravíticos. Mas quando surgiu a pilha de Volta, naturalmente surgiu a designação de “pólos”, o pólo positivo e o negativo para os seus extremos e tentaram verificar se acontecia alguma coisa quando aproximava uma agulha magnética de uma pilha, tendo falhado.

1. 2 Descoberta e Evolução do Electromagnetismo

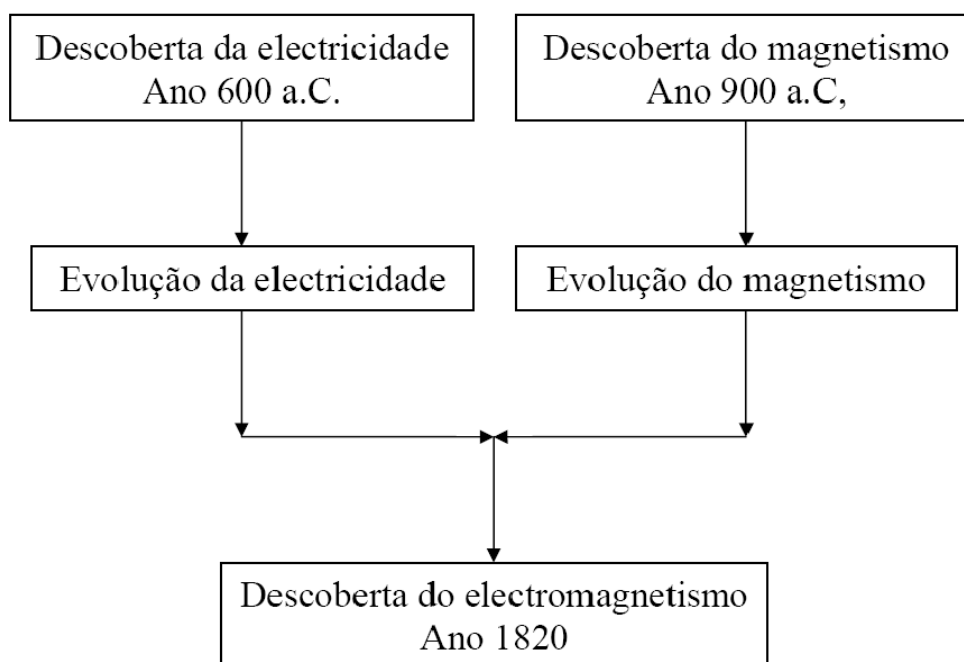


Figura 49 - Esquema mostrando a descoberta e evolução da electricidade e do magnetismo

1.2.1 Hans Christian Oersted

Hans Christian Oersted, Físico, Químico e Filósofo dinamarquês, publicou um artigo, ilustrando as suas primeiras experiências com o “aparelho voltaico” como ele próprio designou a pilha de Volta e referiu uma possível relação entre electricidade e magnetismo, que viria a ser realidade só em 1820. Escreveu o seguinte em 1827:

“O Electromagnetismo foi descoberto no ano de 1820, pelo professor Hans Christian Oersted, da Universidade de Copenhaga. Durante toda a sua carreira de escritor, foi de opinião que os efeitos magnéticos são produzidos pelos mesmos poderes que os eléctricos. Esta sua opinião está relacionada com um princípio filosófico de que todos os fenómenos são produzidos pelo mesmo poder original”. (Oersted)

Entre 1800 e 1820, a procura desta relação foi intensa, muitos foram os investigadores que se dedicaram a este assunto, alguns deles até reivindicaram para si a descoberta desta relação contestando a descoberta de Oersted.

Vários séculos se passaram desde a descoberta da electricidade e do magnetismo, durante os quais se pensava que uma e outro tinham origens diferentes, mas sempre se reconheceu que existiria ligação entre forças eléctricas e as forças magnéticas. Pelo menos três séculos antes de Oersted, já se observava que as bússolas eram perturbadas, durante uma tempestade e que por acção de raios, a sua polaridade podia até ser invertida. Com a descoberta de que os raios eram descargas eléctricas, foi meio caminho andado para se relacionar a electricidade com o magnetismo. Em 1750, Franklin foi mesmo capaz de magnetizar agulhas de costura (que por vezes derretiam), através de descargas eléctricas de garrafas de Leyden, outros investigadores repetiram também estas experiências.

Apesar destes factos, nos finais do século dezoito, a electricidade e o magnetismo ainda eram olhados com muita desconfiança, a posição dos investigadores era a de que existia uma relação, mas não se sabia na realidade que relação era essa, o próprio Coulomb, mostrou uma analogia com a sua Lei.



Figura 50 - Hans Christian Oersted (1777-1851)

Em 1820, Oersted descobriu que uma corrente eléctrica fazia mover uma agulha magnética colocada nas proximidades, como se a própria corrente eléctrica se comportasse como um íman. A agulha ficava orientada perpendicularmente ao fio que conduzia a corrente. Estava descoberto o electromagnetismo.

Oersted nasceu em Rudkjoebing na ilha de Langeland, Dinamarca. Foi educado conjuntamente com o irmão pelos vizinhos, que lhes ensinaram a língua materna, alemão, inglês, francês, latim, grego, aritmética, desenho, literatura, história, etc. Aos 12 anos começou a trabalhar na farmácia do pai e é aí que nasce o seu interesse pela Ciência e Medicina. Ele e o irmão mais novo entram na Universidade de Copenhaga em 1793, mas enquanto o irmão estudou Leis (foi um jurista muito famoso e primeiro-ministro da Dinamarca), Oersted dedicou-se ao estudo da Física, Astronomia, Filosofia e Farmácia, mas não se ficaram por aqui, alargaram os seus conhecimentos noutros campos da Ciência como era comum nessa altura. Em 1799 doutorou-se em Filosofia com uma tese em que fazia uma descrição crítica das ideias de Kant sobre a Filosofia Natural⁸⁸. Em

88 Immanuel Kant (1724-1804) foi um dos mais importantes e influentes filósofos da modernidade. Os seus estudos e ensinamentos nos campos da Metafísica, Epistemologia, Ética e Estética tiveram grande impacto sobre a maioria dos movimentos filosóficos posteriores. Nasceu em 22 de Abril de 1724 na cidade de Königsberg, que fazia parte do império da Prússia, passou lá toda sua vida, onde estudou, doutorou (1755), escreveu e ensinou. Em 1770, tornou-se professor de Lógica e Metafísica, leccionando durante os 27 anos seguintes, conquistando o afecto e a admiração dos seus alunos. Kant deixou a universidade aos 73 anos de idade (1797), os seus ensinamentos, que abrangem quase todos os campos da Filosofia, obtiveram grande reconhecimento internacional.

1800 começa a trabalhar na famosa “Farmácia do Leão” e nesse mesmo ano é convidado a tornar-se farmacêutico-adjunto na Faculdade de Medicina. Com um espírito curioso, Oersted tomou conhecimento da descoberta de Volta, fica entusiasmado pois teve consciência de que poderia contribuir para o desenvolvimento do Galvanismo e da Química⁸⁹. Viaja então para a Europa com uma bolsa de estudo, onde entrou em contacto com grandes nomes da Ciência da época. Em Paris visita a Escola Politécnica e fica surpreendido com os laboratórios⁹⁰, promete a si próprio que iria também ajudar na criação de uma instituição semelhante na Dinamarca⁹¹. Na Alemanha conhece Ritter, com quem conseguiu demonstrar a existência de relações entre os fenómenos eléctricos, calor, luz e efeitos químicos. Deparam-se, no entanto, com algumas dificuldades na tentativa de estabelecer uma eventual relação entre a electricidade e o magnetismo. Em 1803 retorna a Copenhaga, onde é convidado para leccionar física na Universidade, recusa, pois provavelmente considerava que era mais filósofo do que físico, mas continua as suas investigações, publicando os resultados em periódicos dinamarqueses e finalmente em 1806 Oersted aceita o cargo de professor de Física Experimental (foi Oersted que criou os departamentos de Física e de Química). Os seus interesses são vastos, para além das aulas na Faculdade de Medicina, publica alguns trabalhos, trabalha na farmácia, só lhe restando o Domingo à tarde para se dedicar à experimentação. Em 1803 observou que os ácidos aumentavam a “força da pilha voltaica” mais do que os sais, em simultâneo com Davy⁹², este em Londres. Entre 1812 e 1813, visita França e Alemanha, em Berlim, publica um trabalho com a designação “Pesquisa sobre a identidade das forças eléctricas e químicas”, é neste trabalho que consegue a admiração da nova geração de químicos e pela primeira vez refere o seu interesse em relacionar a electricidade voltaica com o magnetismo, no capítulo VIII – On Magnetism:⁹³

89 As suas experiências eram realizadas na “Lion Pharmacy” nas suas horas livres, propriedade do professor de Química, J. Manthey (1769-1842), este possuía uma considerável colecção de equipamentos científicos de química e física, (a Universidade de Copenhaga na época tinha poucos equipamentos, foi Oersted que a equipou posteriormente).

90 Na época, os cientistas trabalhavam nas suas próprias casas, não existiam ainda Laboratórios como hoje são conhecidos, estes foram os primeiros públicos do mundo.

91 Aconteceu em 1829, com a criação da Escola Politécnica de Copenhaga.

92 Humphrey Davy (1778-1829), Químico especialista em electroquímica, durante muito tempo presidente da Royal Society, famoso pelas suas palestras de divulgação de ciência.

93 Oersted, “Recherches sur l’identité des forces chimiques et électriques”, trad. do alemão por Marcel de Serres, Paris, J.G.Dentu, 1813.

"One has always been tempted to compare the magnetic forces with the electrical forces. The great resemblance between electrical and magnetic attractions and repulsions and the similarity of their laws necessarily would bring about this comparison. It is true, that nothing has been found comparable with electricity by communication; but the phenomena observed had such a degree of analogy to those depending on electrical distribution that one could not find the slightest difference...The form of galvanic activity is halfway between the magnetic form and the electrical form. There, forces are more latent than in electricity, and less than in magnetism...But in such an important question, we would be satisfied if the judgment were that the principle objection to the identity of the forces which produce electricity and magnetism were only a difficulty, and not a thing contrary to it... One could also add to these analogies that steel loses its magnetism by heat, which proves that steel becomes a better conductor through a rise in temperature, just as electrical bodies do. It is also found that magnetism exists in all bodies of nature, as proven by Bruckmann and Coulomb. By that, one feels that magnetic forces are as general as electrical forces. An attempt should be made to see if electricity, in its most latent stage, has any action on the magnet as such."

Em 1813, Oersted já tinha então previsto a existência do efeito electromagnético⁹⁴, mas estava errado relativamente às condições necessários para que tal efeito pudesse ocorrer. Por diversas vezes tentou influenciar uma bússola através da corrente eléctrica, sem ter tido sucesso, devia colocar o condutor em posição incorrecta. Para Oersted não era chocante a relação entre a electricidade e magnetismo, diria mesmo "Os efeitos magnéticos são produzidos pelos mesmos poderes que os eléctricos", por essa razão insistiu durante muitos anos, pelo menos oito anos, até finalmente obter resultados. Este engano juntamente com as suas responsabilidades como professor e também como político, impediram-no de provar tal relação, na mesma altura, em 1815, aceita o cargo de secretário Royal Danish Society of Sciences, mas continua as suas investigações, conseguindo de entre outras inovações, aumentar a intensidade de corrente produzida pela Pilha de Volta, substituindo a base de madeira por cobre.

Para tentar confirmar as suas ideias, realizou diversas experiências a fim de encontrar uma relação entre a agulha magnetizada e o "conflito eléctrico". Este termo utilizado por Oersted vinha de sua concepção da natureza da corrente eléctrica, imaginava que existiam dois fluidos eléctricos num fio condutor ligado a uma pilha voltaica, um formado por cargas positivas e outro por cargas

⁹⁴ Oersted foi bastante influenciado pelo movimento da Filosofia Natural de Kant, referia de um modo geral que "o Universo é de natureza orgânica, como um ser vivo dotado de uma alma activa, criadora de forças naturais e como tal existe uma unidade entre essas forças", o que quer dizer que a electricidade, o magnetismo, a luz, o calor, a gravitação e outras forças da natureza estão relacionados, são um todo e podem-se transformar umas nas outras.

negativas, fluindo em sentidos opostos, elas teriam que se encontrar e se separar várias vezes ao longo do fio.

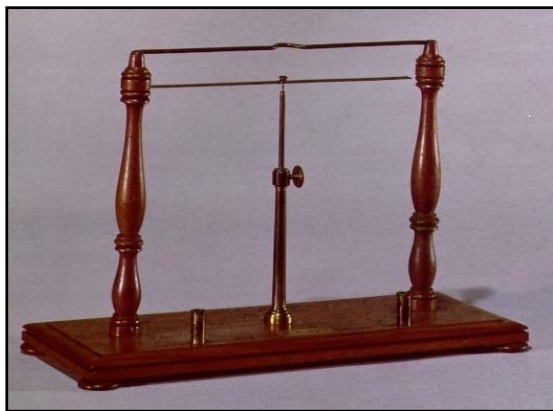


Figura 51 - Agulha Magnética de Oersted (Museu de Física da Universidade de Coimbra)

É assim que em 1820 durante uma aula observa que a agulha magnética move-se quando a corrente eléctrica passa através de um fio condutor. Estava estabelecida a Lei Fundamental do Electromagnetismo “ O efeito magnético observado pela passagem da corrente eléctrica traduz-se num movimento circular à sua volta”.

Foram precisos dois séculos, após a publicação do grande trabalho de Gilbert, para se avançar no conhecimento do magnetismo e da sua relação com a electricidade.

A experiência de Oersted e as questões de Simetria

Enquanto se deslocava para a Universidade de Copenhaga para dar mais uma aula sobre Galvanismo, Electricidade e Magnetismo, Oersted teve uma ideia... Se a electricidade estática não afecta de nenhuma maneira os ímanes, pode ser diferente se experimentarmos com electricidade a percorrer um fio condutor que por sua vez estará ligado aos terminais de uma Pilha...

Quando chegou à sala onde se realizava a apresentação, colocou na bancada um conjunto de Pilhas de Volta, ligou os seus terminais a um fio de platina e colocou uma agulha magnética fechada numa caixa de vidro (para que a agulha não se movesse, se por acaso existir correntes de ar), em paralelo com os fios, a agulha estava orientada segundo a direcção norte-sul magnético. Ao passar uma corrente eléctrica constante, mas de fraca intensidade, observou que a agulha se desvia da sua posição de equilíbrio, oscilando entre as direcções paralelas e perpendicular ao condutor. No caso de inverter o sentido da corrente, observa-se que a agulha se desvia em sentido contrário. Se impedirmos a passagem da

corrente, a agulha volta a oscilar em torno da posição de equilíbrio, direcção paralela ao condutor (norte-sul).

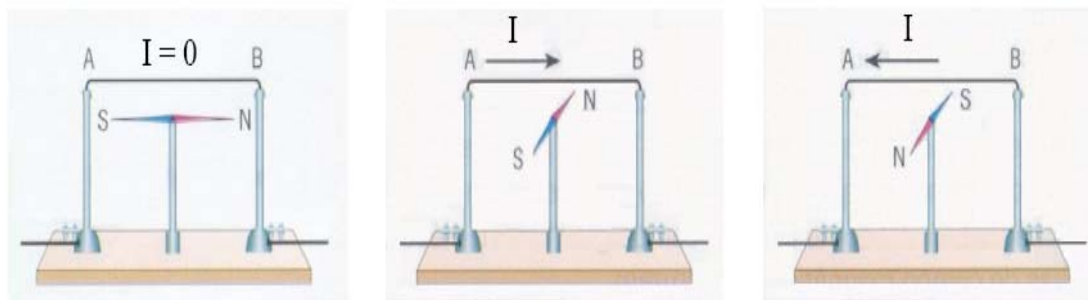


Figura 52 - Experiência de Oersted

As observações experimentais de Oersted permitiram verificar, que quando circula corrente eléctrica num condutor, cria à sua volta um campo magnético, capaz de interagir com a agulha magnética. Sobre a agulha actuam duas forças, a força devido ao campo magnético terrestre e a força originada pelo campo magnético que o condutor cria à sua volta. O movimento da agulha parece ter sido mínimo pelo que não entusiasmou a assembleia e Oersted repetiu a experiência passados três meses, em Julho, quando já tinha testado todas as hipóteses, nomeadamente a utilização de uma pilha que produzisse uma corrente mais intensa. Mas o mais importante foi o ter sido a primeira vez que algo de novo foi demonstrado perante estudantes numa sala de aula, foram as primeiras testemunhas de que a Electricidade estava relacionada com o Magnetismo.

Oersted estabeleceu que a influência da corrente eléctrica sobre a bússola não depende da natureza do fio condutor e que o efeito não é reduzido quando se interpõem materiais condutores ou isolantes entre o fio e a agulha magnética; que o efeito só actua sobre agulhas magnetizadas, e não sobre outras agulhas metálicas; estudou o efeito para várias posições relativas do fio e da agulha; por fim procurou explicar o fenómeno observado, supondo que em torno do fio que conduz a corrente, o “conflito eléctrico” manifesta-se sob a forma de dois turbilhões⁹⁵ que circulam em torno do fio, em sentidos opostos, sendo que um

⁹⁵ É René Descartes (1596-1650), o primeiro pensador moderno, caracteriza o Universo Físico desde a sua formação e depara-se com uma das primeiras questões da Filosofia Natural, a de compreender como é que os corpos que não contactam entre si estabelecem ligações e na base destas acções estão o comportamento dos ímanes ou uma possível influência da Lua sobre as marés. Descartes imaginava o Universo preenchido por matéria homogénea em movimento e este teria dado início a um processo de formação de partes arredondadas que executam movimentos de rotação e são estes movimentos que

deles actua sobre o pólo norte e o outro sobre o pólo sul da agulha magnetizada. Observou também que as “linhas de campo”⁹⁶ em torno de um condutor percorrido por uma corrente formam círculos concêntricos que obedecem à Regra da Mão Direita⁹⁷.

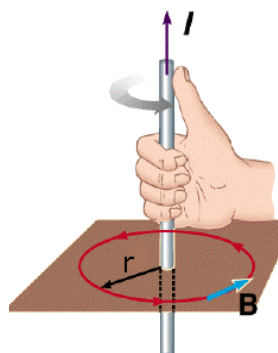


Figura 53 - Regra da Mão direita

Este era o aspecto mais importante e revolucionário no trabalho de Oersted, pois aparentemente violava a simetria envolvida no fenómeno, ou seja o efeito magnético produzido pela corrente eléctrica não era paralelo a ela, como muitos pensavam, por essa razão se levou bastante tempo para se corrigir este facto. Embora a corrente eléctrica fosse pensada como um fenómeno longitudinal no fio condutor, o seu efeito apresentava um aspecto de rotação em torno do fio (na época era uma situação complicada de entender). O facto da agulha se colocar sempre perpendicular ao plano contendo o fio condutor da corrente eléctrica era tão surpreendente que foi suficiente para colocar em questão as crenças da altura a respeito das forças naturais. A natureza desta força magnética era distinta das forças conhecidas até então, além de que contrariava a 3ª Lei de Newton. Não se tratava certamente, de uma força central, já que não estava orientada segundo uma linha recta unindo os corpos como acontece no caso da força gravítica, da força electrostática ou da força entre os dois pólos de um íman. Tal descoberta foi descrita na Academia de Ciências de Paris a 4 de

teriam dado origem a imensos turbilhões ou redemoinhos (movimento de rotação em espiral) espalhados pelo espaço. Cada turbilhão estaria a ocupar uma região semelhante ao nosso Sistema Solar, cujo centro estaria ocupado por uma estrela, esta forma irá ser fundamental na explicação da acção magnética dos ímanes.

⁹⁶ A ideia de “linhas de Campo” surgiram com os estudos de Faraday, Oersted nunca utilizou estes termos, nem a forma dessas linhas.

⁹⁷ A Regra da Mão Direita é um truque simples para saber a direcção e sentido do campo magnético em torno de um fio condutor percorrido por uma corrente eléctrica. O polegar aponta no sentido da corrente e os restantes dedos definem o sentido do campo magnético.

Setembro de 1820 pelo então Presidente Dominique Arago⁹⁸, que diante da descrença generalizada repetiu novamente a experiência de Oersted a 11 de Setembro, perante uma Academia surpreendida e ao mesmo tempo desconfiada. Os espectadores não acreditavam no que viam, não pela relação evidente entre a electricidade e o magnetismo, como já foi referido, mas pela total quebra de simetria demonstrada pela experiência. Na assistência encontrava-se André Marie Ampère (1775-1836), professor de matemática na Escola Politécnica de Paris, que mais uma vez iria revolucionar a Física com as suas investigações no estudo de uma nova ciência a que chamou Electrodinâmica, hoje designada por Electromagnetismo.

O trabalho de Oersted foi publicado pela primeira vez, às suas próprias custas em 1820. Distribuiu folhetos a colegas, amigos, Sociedades Científicas, Editores e cientistas famosos de vários países com quem mantinha contacto, com o seguinte título "*Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticam* (Experiências sobre o efeito do conflito eléctrico sobre a agulha magnética) ", datado de 21 de Julho de 1820. Mas a descoberta de Oersted gerou bastante polémica, grandes discussões científicas e algumas controvérsias⁹⁹, pois logo a seguir à publicação do seu trabalho, comentava-se que um Físico italiano tinha conseguido o mesmo feito. Segundo Aldini¹⁰⁰, em 1802, Romagnosi (1761-1835), Físico e Jurista de Trento (Itália), tinha reconhecido que o Galvanismo produzia a declinação da agulha magnética, mas infelizmente a sua comunicação ao mundo tinha sido ignorada, apesar de ter sido publicada na Gazzetta di Trento (jornal de província mas sem divulgação no exterior). Actualmente os investigadores da História da Ciência ainda estudam o caso, mas a opinião generalizada é de que Romagnosi estudou o assunto mas não chegou a nenhuma conclusão concreta, o mais provável foi Oersted ter tido conhecimento dos escritos de Romagnosi durante as suas viagens e que eles de algum modo nortearam o seu trabalho, incentivando-o a continuar.

⁹⁸ Entre 4 e 25 de Setembro de 1820, o físico francês Dominique François Jean Arago (1786-1853) realizou experiências sobre os efeitos magnéticos da corrente eléctrica observados por Oersted. Arago teve conhecimento das experiências de Oersted quando se encontrava em Genebra e foi lá que observou experiências análogas realizadas pelos físicos suíços Marc Auguste Pictet (1752-1825) e Auguste de la Rive (1801-1873).

⁹⁹ Parece que Oersted foi mesmo acusado de plágio, situação que nunca comentou e pela qual não foi prejudicado. Foi eleito membro de várias Sociedades e Academias científicas europeias e em 1822 realizou uma viagem triunfal por Berlim, Munique, Paris, Londres e Edimburgo. Fundou na Dinamarca uma sociedade para o desenvolvimento do estudo da Ciência e em 1828 foi nomeado conselheiro de estado e posteriormente do próprio Rei.

¹⁰⁰ Investigador, sobrinho de Galvani.

A experiência de Oersted deixou como herança um enorme desafio a toda a Comunidade Científica.

1.2.2 André Marie Ampère e a Electrodinâmica

Ampère após a demonstração realizada por Arago, regressou ao seu laboratório a fim de investigar as possíveis consequências do que tinha observado e uma semana após o grande acontecimento, apresentou um conjunto de relações básicas relativas ao comportamento da corrente eléctrica quando atravessa condutores rectilíneos, intitulado "Mémoires sur l'action mutuelle de deux courant électriques (Memória sobre a acção mutual de duas correntes eléctricas)". Não era habitual esta rapidez de produzir informação, mas Ampère era dotado de uma grande agilidade mental (actualmente seria considerado um sobredotado), teve uma educação completa, a todos os níveis, dada pelo pai, aos onze anos já tinha lido a maior parte dos livros da sua Biblioteca. Depois da biblioteca paterna, Ampère passou a estudar matemática, tarefa difícil, pois requeria um conhecimento prévio sobre ramos bastante complexos desta ciência exacta. Além disso, a maioria das obras estavam em latim, língua que Ampère desconhecia, mas que no decurso de poucas semanas aprendeu com o pai e no mesmo período de tempo, adquiriu os rudimentos de análise infinitesimal com o bibliotecário do colégio de Lyon. A Física, Química, Matemática e Botânica foram os grandes objectos de interesse durante toda a sua vida que foi manchada pelas mortes prematuras do pai (morreu na guilhotina) e da primeira esposa.

A 18 de Setembro, perante a Academia francesa descreveu as conclusões a que chegou. Ampère apresentou a teoria que explicava o efeito magnético associado à corrente eléctrica (designação criada por este para substituir "conflito eléctrico" utilizado até então), a natureza eléctrica do íman que contribuíram de forma notável na construção dos fundamentos do Electromagnetismo, explicou a experiência de Oersted e esclareceu algumas das dúvidas. Percebeu claramente a diferença entre tensão eléctrica, responsável pelos efeitos electrostáticos e corrente eléctrica, a que provocava os efeitos magnéticos observados por Oersted. Assim para Ampère, todo o fenómeno era eléctrico e tudo o resto se reduzia a efeitos da corrente eléctrica¹⁰¹. Ampère era

¹⁰¹ Nem todos aceitaram a interpretação de Ampère, duas semanas após a apresentação de Arago, Jean Baptiste Biot (1774-1862) e Félix Savart (1791-1841) comunicaram à Academia, o resultado das pesquisas sobre a experiência de Oersted. Quando mediram a variação da oscilação de um íman suspenso

um convicto seguidor de Coulomb¹⁰² e aceitava as suas ideias sobre a impossibilidade da interacção entre Electricidade e Magnetismo (dois fluidos diferentes que actuavam independentes um do outro) assim como muitos outros investigadores da época. Parece ter sido essa a razão, além da simetria, para que a descoberta do electromagnetismo se desse só em 1820. Mas na época de Coulomb também ainda não tinha sido inventada a Pilha de Volta, de modo que os possíveis efeitos criados por cargas eléctricas em movimento não tinham sido observados e Ampère pode ter sido levado a considerar a acção mútua entre duas correntes de electricidade similar à acção mútua entre dois ímanes.

Experiência de Ampère

Ampère como matemático que era, analisou o trabalho de Oersted, clarificou e melhorou-o de forma a provar que a corrente eléctrica era capaz de criar um campo magnético. Começou por confirmar o ensaio realizado com uma agulha magnética, com condutores lineares, estendendo os seus estudos a condutores em forma de espiral. Ampère ao realizar as suas experiências, cedo se apercebeu do comportamento da agulha magnética (íman em forma de losango) quando em presença de uma corrente, podia ser utilizada como detector da passagem da corrente eléctrica.



gura 54 - Solenóide (Museu de Física da Faculdade de Coimbra)

colocado em várias posições cada vez mais distantes do fio condutor, demonstraram que a força magnética agia perpendicularmente à recta que ligava o íman suspenso ao fio condutor e a sua intensidade era proporcional à distância do fio. Biot e Savart consideravam que a corrente eléctrica provocaria uma mudança na matéria constituinte do fio de tal modo a estabelecer uma estrutura de pólos magnéticos que criaria um campo de forças com características rotacionais e que influenciava a agulha magnética.

¹⁰² A experiência de Coulomb em 1780, foi a responsável por uma das escolas de pensamento na qual era impossível existir interacção entre a electricidade e o magnetismo e da qual Oersted se destacava pelo seu apoio à Filosofia Natural de Kant.

As descobertas de Oersted e de Ampère levaram ao aparecimento de novos instrumentos de medida, o galvanómetro¹⁰³ para pela primeira vez, medir a intensidade da corrente.

Ampère generalizou a teoria que lhe permitiu analisar as forças electromagnéticas que circulam no interior da “molécula magnética”¹⁰⁴ que são o fundamento das propriedades magnéticas, estas moléculas, quando alinhadas pela acção de outro íman, formariam um íman permanente, mas não conseguiu explicar muito bem porque razão estas moléculas se comportariam desta maneira.

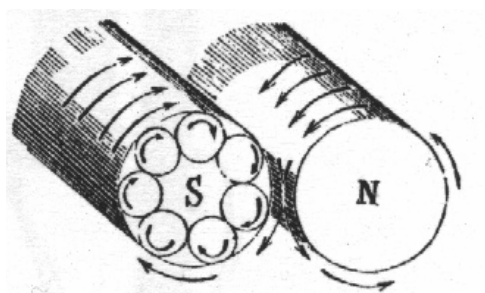


Figura 55 – Teoria de Ampère

A este respeito, os investigadores nessa área, compreenderam o vasto significado para a Humanidade de se poder produzir campos magnéticos e controlar a corrente eléctrica sem depender de ímanes naturais ou de barras de ferro, mas de outra classe de ímanes bem mais potentes. Com esta demonstração, Ampère deu um grande salto na evolução do electromagnetismo, não só conseguiu que uma corrente eléctrica influenciasse um íman, mas

¹⁰³ Um Galvanómetro é um instrumento que detecta e mede pequenas quantidades de corrente num circuito eléctrico. O primeiro Galvanómetro, de bobina fixa, foi construído dois meses após Oersted ter demonstrado que a corrente eléctrica provoca o movimento de uma agulha magnética. O feito foi realizado por um matemático e físico alemão Johann Schweigger (1779-1857) que lhe chamou “multiplicador”. Schweigger baseou a construção deste aparelho na experiência de Oersted, medindo a corrente através da deflexão que a agulha magnética sofria. Para aumentar a sua sensibilidade, deu muitas voltas ao condutor e o que Ampère tinha previsto aconteceu, a corrente eléctrica aumentou significativamente. Anos mais tarde, Leopoldo Nobili (1784-1835) construiu um galvanómetro mais sofisticado, muito mais sensível que corrigia os efeitos do magnetismo terrestre nas medições e que se baseava naturalmente no multiplicador de Schweigger. A importância deste instrumento de medida transcende a sua capacidade de detectar correntes fracas, foi o primeiro a medir a intensidade da corrente eléctrica.

¹⁰⁴ Em 1825, Ampère deu com a explicação correcta da fonte do magnetismo, sabia que uma espira de um condutor torna-se num íman, quando uma corrente passa por ele. Portanto, o ferro é magnético, porque correntes circulares de electricidade correm em cada um de seus átomos. Cada átomo ou molécula de uma substância magnética tem um pólo norte e um pólo sul. Se esses pólos moleculares apontam em direcções ao acaso, anulam-se, e a peça é desmagnetizada. Se eles se alinharem, numa certa quantidade, na mesma direcção, o seu magnetismo individual soma-se, e a peça é magnética. A existência de todos os efeitos magnéticos tem sido explicada com base nas cargas eléctricas em movimento.

também produzir magnetismo. Observou que, quando no interior de um solenóide circula corrente eléctrica, cria-se um campo magnético no seu interior, fazendo então com que este se comporte como um íman. Verificou também que quando circula corrente no mesmo sentido em dois condutores paralelos, ambos se atraem, ao cortar a corrente os condutores ficam sujeitos à força gravítica e regressam à sua posição de equilíbrio. Quando a corrente circula em sentidos opostos em ambos os condutores, estes sofrem a acção de uma força repulsiva que os tende a afastar.

Ampère publicou as suas conclusões em 1822, num artigo com a designação “Experiências envolvendo os novos fenómenos electrodinâmicos”, onde a determinada altura refere:

“Dei o nome de electrodinâmica a todos estes fenómenos e em particular ao que observei entre dois condutores voltaicos... A força electromotriz é caracterizada por uma tensão eléctrica e intensidade de corrente. A primeira forma-se quando dois condutores se encontram separados um do outro por um não condutor e também nos pólos de uma pilha, antes de ser ligada a um outro condutor. A segunda nos elementos que fazem parte de um circuito, quando circula corrente. ... dois corpos carregados de igual forma, repelem-se e quando os condutores carregam corrente que fluem na mesma direcção, eles atraem-se”.

Mostrou também que dois solenóides¹⁰⁵ onde a corrente eléctrica passa, tal como nos imanes, sofrem atracções e repulsões, dependendo do sentido da corrente. Ampère ainda previu a existência dos electroímans, mais tarde confirmado experimentalmente. Como a maior parte dos físicos, Ampère percebeu que os fenómenos eléctricos só podiam ser explicados supondo a existência de dois fluidos diferentes, que ele designou por fluido negativo e fluido positivo circulando em sentidos opostos.

¹⁰⁵ Obtém-se um solenóide quando se enrola um fio condutor em espiral, equivalente a uma bobina.



Figura 56 - Modelo de Ampère para observar a interacção entre correntes em condutores lineares e em espiral (solenóide)

Mas como estender esta teoria aos ímanes permanentes? Se o magnetismo é electricidade em movimento, então deve também existir correntes de electricidade nos ímanes. Assim Ampère referia que um íman poderia ser comparado a uma série de Pilhas de Volta, nas quais as correntes eléctricas se movimentavam em círculos concêntricos em redor do eixo do íman de acordo com o “observador de Ampère” ou regra do «nadador». Esta personagem “nada” deitado ao longo do fio condutor, com a face voltada para a agulha, e colocado de modo que a corrente circule convencionalmente no sentido dos pés para a cabeça, vê o pólo norte da agulha desviar-se para a esquerda.

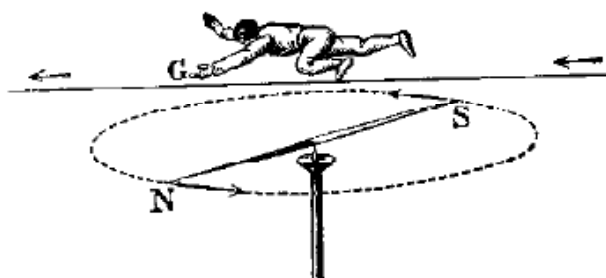


Figura 57 - O observador de Ampère

Mas a teoria da Electrodinâmica de Ampère não foi universalmente aceite, a seu respeito, James Clerk Maxwell (1831-1873), no seu “Tratado de Electricidade e Magnetismo (Indução de correntes eléctricas)”, publicado em 1873, refere:

“O método de Ampère, contudo, embora formalizado numa forma indutiva, não nos permite traçar a formação das ideias que o orientaram. Dificilmente podemos acreditar que Ampère realmente descobriu a lei da acção da maneira como a descreve. Somos levados a suspeitar, o que na verdade nos diz ele próprio, que descobriu a lei por algum processo que não nos tinha mostrado e

que quando posteriormente construiu uma demonstração perfeita removeu todos os traços da plataforma com a qual a havia feito crescer. Faraday, por outro lado, mostra-nos os seus ensaios mal sucedidos tanto quanto os bem sucedidos, e suas ideias triviais tanto quanto as desenvolvidas, e o leitor apesar de inferior a ele no poder de intuição, sente simpatia mesmo, mais que admiração e é tentado a acreditar que se tivesse oportunidade também seria um investigador. Consequentemente, todo o estudante deveria ler as investigações de Ampère como um bom exemplo do estilo científico na apresentação de uma descoberta, mas também deveria estudar Faraday para formação de um espírito, por meio da acção e reacção que ocorrerá entre os factos recentemente descobertos como apresentados a ele por Faraday e as ideias que começaram a desenvolver-se na sua cabeça.”

É obvio que Ampère foi muito ousado para a época, entre 1821 e 1826, tentou descobrir as relações entre os seus fenómenos electrodinâmicos e estabelecer uma teoria da qual estas relações pudessem ser matematicamente deduzidas. O seu trabalho está registado na obra “Mémoire sur la théorie mathématique des phénomènes électrodynamique, uniquement déduite de l’expérience (Memórias sobre a teoria matemática dos fenómenos electrodinâmicos unicamente deduzidos da experiência), de 1827. Neste trabalho, considerado o Principia da Electrodinâmica, Ampère estabeleceu as leis de acção das correntes eléctricas a partir de experiências por ele construídas. Portanto além de estabelecer a regra do nadador, também estabeleceu a lei que hoje é conhecida pela lei de Laplace (que relaciona a força magnética que actua sobre uma porção elementar de corrente eléctrica com o campo magnético onde esta se situa), além da lei da interacção entre correntes.

1.2.3 Faraday e a Lei da Indução Electromagnética

As investigações de Faraday realizaram-se a partir da experiência de Oersted, que pela primeira vez verificou que a passagem da corrente eléctrica provoca o movimento de uma agulha magnética colocada próxima de um fio percorrido por uma corrente eléctrica. O movimento da agulha levou à hipótese da acção de uma força magnética produzida pela corrente, ou seja, a manifestação de um fenómeno magnético a partir de um fenómeno eléctrico. Faraday estudou este fenómeno e imaginou a possibilidade do efeito simétrico, ou seja, uma força magnética constante poderia produzir corrente, também ela constante.



Figura 58 - Michael Faraday (1791-1867)

Esta hipótese falhou experimentalmente, mas quando Faraday aproximou dois condutores em forma de espiral, colocados paralelamente, ao ligar e desligar a corrente que atravessava apenas um deles, observou que havia passagem da corrente eléctrica no outro, provocada pelo efeito "on-off" do circuito próximo. Da mesma forma, ao aproximar ou afastar um íman de um condutor em forma de espiral, Faraday observou que se criava uma corrente, estava descoberta a Indução Electromagnética.

Michael Faraday nasceu a 22 de Setembro de 1791 em Newington Butts no Surrey de uma família com poucos recursos económicos, o pai, James Faraday, era ferreiro e tinham mais dois filhos. Aos cinco anos foi com a família para Londres para tentarem melhorar a sua situação económica, na época a Inglaterra sofria as consequências da Revolução Francesa. Mas infelizmente o pai de Faraday ficava muitas vezes doente e não conseguia arranjar trabalho, a mãe para sustentar a família trabalhava como criada. Eram seguidores da igreja Sandemaniana, uma rígida seita cristã que encontrava inspiração na Bíblia e nos ensinamentos do Novo Testamento. Na escola os irmãos Faraday aprenderam o suficiente para ler, escrever e um pouco de aritmética, o resto do tempo passavam-no a brincar. Em 1804, tinha treze anos, para ajudar a família, arranjou trabalho na livraria de um francês, George Ribeau, onde Faraday começou por distribuir o jornal porta a porta a clientes da livraria e entregar encomendas, um ano depois tornou-se aprendiz de encadernador. Foi esta situação que fez com que Faraday adquirisse os seus muitos conhecimentos, foi

um autodidacta, pela sua mão passaram centenas de livros que suscitaram em Faraday, o gosto pela leitura e em particular pela leitura de livros científicos. Um desses livros foi um dos volumes da Enciclopédia Britânica, Faraday ficou entusiasmado com o artigo "Electricidade", leu o livro de Lavoisier "Elementos de Química" publicado pela primeira vez em 1790 em Inglaterra e "Conversações sobre Química" de Jane Marcet¹⁰⁶ (1769-1858). Anos mais tarde, Faraday diria sobre Jane e sobre a sua influência em Química: "*She gave me my foundation in that Science... her book came to me as the full light in my mind*" (Hamilton, 2002).

Ribeau viu em Faraday um rapaz inteligente e com muitas potencialidades, decidiu portanto ajudá-lo, arranhou-lhe um quarto nos fundos da livraria, onde Faraday dormia e realizava as suas experiências, Ribeau tornou-se para ele um segundo pai, principalmente após a morte do pai ocorrida em 1810. Nesse mesmo ano encorajado por Ribeau começa a frequentar os serões em casa do professor e filósofo John Tatum que juntava todas as quartas-feiras todos aqueles que se interessavam pela cultura científica. Foi nestes serões que Faraday conheceu grandes amigos e nos quais observava ao vivo, experiências (por vezes mais de vinte por noite), ouvia discursos sobre Electricidade, Galvanismo, Óptica, Mecânica, Química, Astronomia e muitos outros assuntos. Faraday além de ouvir e observar, desenhava (influenciado pelo pintor Jean Masquerier, frequentador habitual da loja de Ribeau) e tirava apontamentos, por exemplo, como é que a corrente eléctrica decompõe a água, experiência realizada por Humphry Davy, na altura director do laboratório da Royal Institution e quando Luigi Galvani mostrou como as pernas da rã se contraíam, quando sujeitas a uma carga eléctrica. Este conjunto de informações tornou-se fundamental para o futuro de Faraday e foi mais tarde agrupado em quatro volumes dedicados ao seu mentor Ribeau, com a seguinte dedicatória:

"When first I evinced a predilection for the Sciences but more particularly for that one denominated Electricity you kindly interested yourself in the progress I made in the knowledge of facts relating to the different theories in existence readily permitting me to examine those books in your possession that were any related to the subjects then occupying my attention. [To] you therefore is to be attributed the rise and the existence of that small portion of knowledge relating

¹⁰⁶ Desde cedo se dedicou à Botânica e à Química, mas alargou os seus interesses noutras áreas, a sua maior desvantagem foi ter sido mulher naquela época. Publicou diversos livros em áreas como economia, psicologia da criança, etc., influenciada pelo marido, suíço e médico. Foi grande amiga de Faraday.

to the sciences which I possess and accordingly to you are due my acknowledgements. Unused to the arts of flattery I can only express my obligations in a plain but sincere way. Permit me therefore Sir to return thanks in this manner for the many favours. I have received at your hands and by your means, and believe me you're grateful and obedient Servant, M Faraday." (Hamilton, 2002)

Ribeau ficou de tal modo sensibilizado que mostrou as notas de Faraday a um seu cliente, George Dance (família muito conceituada em Inglaterra, na sua maioria membros da Royal Institution), este conseguiu um bilhete para Faraday assistir às famosas sessões culturais e científicas promovidas por Davy na Royal Institution¹⁰⁷. Na época Davy era uma celebridade e um óptimo orador, assistiam a estas sessões homens e mulheres da alta sociedade londrina. Faraday assistiu a quatro das dez sessões que Davy promoveu e em cada uma delas registou o que ia observando, elaborando um texto ilustrado que ele próprio encadernou e enviou a Davy.



Figura 59 - Sessões na Royal Institution em pintura de época

Faraday tinha finalmente chegado à conclusão que o seu futuro não passava por encadernador mas sim pela ciência. No Verão de 1812 deixa a livraria de Mr. Ribeau com quem tinha trabalhado nos últimos seis anos para tentar a sua sorte no mundo da ciência, paixão confirmada durante as conferências de Davy na Royal Institution. Os meses passam e Faraday começa a ficar desesperado, pois

¹⁰⁷ A Royal Institution foi fundada em 1800 pelo Conde Rumford (Benjamin Thompson), que convenceu amigos influentes de Londres a ajudarem-no na constituição de uma instituição onde seriam proferidas palestras referentes aos recentes desenvolvimentos da ciência e tecnologia, com o objectivo de melhorar a vida de cidadãos comuns e divulgar ciência. Apesar de autorizada pelo rei George III, a Royal Institution não recebia qualquer patrocínio do governo, necessitando, portanto, de doações, geralmente conquistadas através das cativantes palestras de Davy que atraíam homens de negócio e pessoas com alguma cultura científica.

era responsável quase integralmente pelo sustento da família, escreve ao presidente da Royal Society, Sir Joseph Banks mas não recebe qualquer resposta. Neste interregno, continua com as suas investigações, tanto no quarto dos fundos da livraria como em casa, e arranja uma forma interessante de divulgar as suas observações, escrevia longas cartas ao seu amigo Benjamin Abbott¹⁰⁸, que conheceu nos serões de Tatum. Esta correspondência durou dez anos e o seu início foi influenciado pela leitura do livro de Isaac Watts, durante o seu trabalho como encadernador, intitulado "The Improvement of the mind" que a certa altura refere: *"A very effectual method of improving the mind of the person who writes e the person who receives"*. Para Faraday foi a forma que arranjou de treinar a escrita e principalmente o vocabulário onde tinha algumas dificuldades dado o seu irregular percurso escolar e as "brancas" que de vez em quando surgiam, para compensar estes esquecimentos pontuais registava tudo o que fazia e observava no seu caderno de Laboratório. Entretanto surge-lhe um trabalho na área das matemáticas, mas Faraday nunca se sentiu muito à vontade em matemática, pelo que recusa e é quando se lembra dos seus apontamentos das conferências de Davy e envia-lhe uma cópia, a resposta não tardou. Por coincidência Davy tinha tido um acidente, provocado por uma explosão no laboratório (pedaços de vidro feriram-lhe as faces muito perto da vista) e estava com sérias dificuldades em registar as observações pelo que perguntou a Faraday se este estaria interessado em ser seu secretário, auxiliá-lo nas suas investigações e demonstrações públicas, meses depois ficaria com o lugar de Assistente de Laboratório de Química, deixado vago por William Paine. Para Faraday foi o céu, estava onde queria, apesar de o salário ser mais baixo do que como encadernador, conseguiu negociar outro tipo de condições como o direito a alojamento, alimentação, iluminação e vestuário de protecção.

Entrou na Royal Institution no dia 1 de Março de 1813 e nunca mais saiu. Com elevadas expectativas que rapidamente se desvaneceram, pois Faraday fazia de tudo um pouco, desde tratar da iluminação, varrer o chão, limpar bancadas, etc. Ao contrário do que tinha previsto, o dia era de tal modo ocupado, que não lhe sobrava tempo para continuar com as suas investigações nem para manter a

¹⁰⁸ Foi professor e um dos melhores amigos de Faraday, todas as cartas que recebeu chegaram até à actualidade, o mesmo não se pode dizer das que Faraday enviou.

correspondência com Abbott em dia, mas finalmente tinha entrado no mundo da ciência.

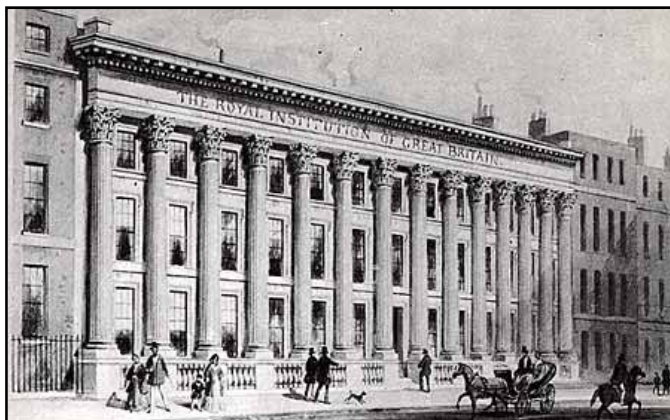


Figura 60 - Royal Institution em pintura de época

Desde o início do seu trabalho na R.I. Faraday foi mais do que assistente de laboratório, foi o braço direito de Davy nas suas investigações, construíram a primeira lâmpada de Segurança para os mineiros, trabalhou no estudo do Cloreto de Hidrogénio, isolaram o elemento de cor lilás "iodine" a que deram o nome de Iodo na visita a Paris, conseguiram extrair açúcar da beterraba (em Paris visitaram uma Indústria de produção de açúcar) e muito mais. Entre Outubro de 1813 e Abril de 1815, Faraday viaja pela Europa com Davy e a esposa, Davy convidou Faraday como assistente mas no dia da partida o seu criado não apareceu e Faraday assumiu também essa tarefa e foi como criado que Faraday foi tratado pela mulher de Davy durante toda a viagem. Faraday não gostou, mas para ele era uma grande oportunidade contactar com outros investigadores conhecidos na altura (Auguste de la Rive, Volta, Gay-Lussac, Ampère e outros), aprender outras línguas, conhecer outros países, mas também para a sua formação como cidadão. Esta inserção na comunidade científica da Europa serviu para a efectiva formação académica até então praticamente inexistente.

Quando voltou para Londres foi promovido a responsável de Instrumentação e da Colecção de Mineralogia, o seu ordenado aumentou substancialmente e mudou para uns aposentos maiores perto dos laboratórios o que lhe permitiu ter mais tempo para continuar as suas investigações. Sob a influência de Davy inicia trabalhos na área da química analítica, análise de águas, argilas e ligas de aço.



Figura 61 - Faraday a trabalhar no Laboratório da Royal Institution, aguarela de Harriet Moore, (1852).

Em Setembro de 1819, "The Literary Gazette" publicava um artigo sobre uma experiência realizada por um professor alemão, que teria produzido luz a partir de electricidade e que dizia a certa altura, "... *No futuro uma simples máquina poderá iluminar uma cidade...*", esta notícia chama a atenção de Faraday que ficou interessado em explorar o assunto. Em Outubro de 1820, Davy informa Faraday de que um dinamarquês, Oersted tinha descoberto a relação entre a electricidade e o magnetismo e ambos repetem a experiência, considerando que não havia razão para que o fenómeno observado não pudesse ser explicado como sendo devido a atracções ou repulsões magnéticas. Um outro cientista ficou perplexo com as conclusões a que Oersted tinha chegado, William Wollaston¹⁰⁹ (1766-1828), um dos melhores amigos de Davy e seu companheiro de pesca. Nos primeiros meses de 1821, ambos discutiram o assunto por diversas vezes, algumas na presença de Faraday, Wollaston pensava que a corrente eléctrica se movimentava em espiral no interior do condutor, mas não conseguiram chegar a nenhuma conclusão e Faraday estava interessado noutros assuntos. Na época, Faraday estava ocupado com as suas tentativas de melhorar uma liga de ferro para uso em instrumentos de precisão, fazia experiências com

¹⁰⁹ Físico e Químico, fez fortuna patenteando o seu processo de purificação da platina e pelo qual foi condenado por Davy que não conseguia ganhar dinheiro com o que descobria. Isolou o Paládio e o Ródio, descobriu as riscas escuras do espectro solar que possibilitaram a descoberta da composição química do Sol. Foi eleito membro da Royal Society em 1793 e secretário de 1804 a 1816.

cloro e com carbono e a nível pessoal, preparava o seu casamento com Sarah Barnard¹¹⁰.

No mesmo ano, Faraday foi convidado pelo editor da revista *Annals of Philosophy* a escrever um artigo sobre a evolução da electricidade e do magnetismo, tinham então passado oito meses desde a comunicação de Oersted e Faraday não se sentia ainda muito à vontade para falar dessa experiência tão polémica para muitos e sem qualquer sentido para ele (Oersted falava numa espécie de “conflito eléctrico” em redor do fio e imaginava que esse conflito se estabelecia em círculos)¹¹¹.

No dia 3 de Setembro de 1821, ao repetir a experiência Oersted para esclarecer as condições de atracção ou de repulsão da agulha magnética perto de um fio condutor, Michael Faraday colocou uma agulha magnética em diferentes posições à volta de um fio onde passava corrente, ficou impressionado com o seguinte facto: a força que a corrente exercia em cada pólo do íman tendia a deslocá-lo segundo uma linha circular à volta do fio ou ao contrário, o fio circulava em torno do pólo de um íman permanente e fixo. Como viria a dizer mais tarde: “*o fio ficava rodeado por linhas de forças circulares*”. Para defender o que observou, Faraday construiu em 1821 um aparelho, a que chamou rotor electromagnético¹¹² e que só serviu para divulgar a interacção electromagnética. Este aparelho que ficou conhecido como Motor de Faraday, teve como objectivo, como já referido mostrar o efeito eléctrico circular em volta de um fio condutor¹¹³ e foi o primeiro aparelho capaz de produzir um movimento contínuo devido à acção de uma corrente eléctrica - o primeiro motor eléctrico.

¹¹⁰ Pertencia também à comunidade sandemaniana, uma pequena seita religiosa protestante muito rigorosa. Foi numa missa que Faraday conheceu a sua futura mulher, casam a 12 de Junho de 1821 e ficam a viver na R.I.

¹¹¹ Os trabalhos de Oersted e Ampère que associavam a origem do magnetismo a partir de uma corrente eléctrica fizeram com que Faraday, no seu diário em 1822, escrevesse: “*Converter magnetismo em electricidade*”.

¹¹² É constituído por dois vasos contendo mercúrio, no vaso da esquerda um íman permanente cilíndrico é preso pela parte inferior ao corpo e encontra-se solto na parte superior, flutuando no mercúrio. Quando circula uma corrente eléctrica no condutor vertical fixo que mergulha no mercúrio a parte superior do íman movimenta-se em círculo em torno do condutor eléctrico. No vaso da direita, onde mergulha no mercúrio um íman permanente fixo, um condutor preso apenas na parte superior e mergulhado no mercúrio, tem movimento de rotação em torno do íman quando o condutor é percorrido por uma corrente eléctrica. A alteração de sentido da corrente eléctrica provoca a alteração do sentido do movimento de rotação do elemento móvel.

¹¹³ Ninguém mais do que Faraday poderia ter considerado seriamente a “força circular”, este não tinha os preconceitos que impediam a aceitação deste facto naturalmente, já que não tinha sido instruído dentro do paradigma newtoniano. O cientista do século XIX tendia a *pensar as interacções físicas dentro dos padrões newtonianos, ou seja, em termos de forças centrais agindo sempre na direcção da recta que liga as partículas interactuantes (acção-reacção)*

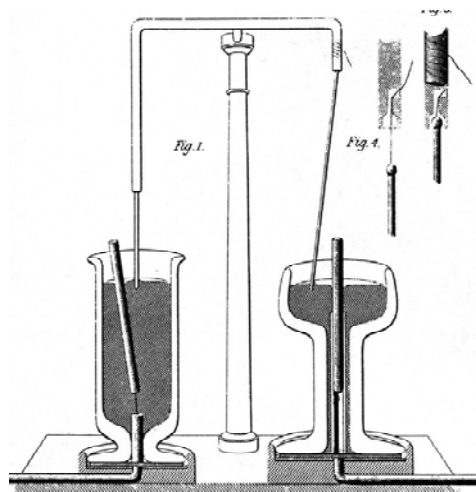


Figura 62 - Motor de Faraday - Esse aparelho permite observar tanto a rotação de um fio em torno de um ímã (lado direito) como a rotação de um ímã em torno de um fio condutor (lado esquerdo)

As rotações electromagnéticas constituíram uma contribuição importante para o desenvolvimento da nova área e o artigo de Faraday bastante longo e repleto de experiências e discussões, foi rapidamente traduzido para francês e acrescido de comentários escritos por Ampère. Depois da publicação da descrição deste instrumento, este passou a ser adoptado como uma ferramenta pedagógica espalhando os conhecimentos que permitiram a alguns estudiosos como P. Barlow (1822), J. Henri (1831) ou W. Ritchie (1833) apresentarem pequenas máquinas magneto-eléctricas motrizes que nessa época não tiveram qualquer aplicação útil nem despertaram qualquer interesse comercial porque dependiam da pilha como fonte de energia eléctrica e esta era então uma fonte que tornava a energia eléctrica mais cara do que qualquer outra forma de energia.

Quando em Outubro de 1821, o artigo é publicado, Faraday foi acusado de ter plagiado a ideia de Wollaston, este e Davy ficaram de tal maneira zangados que a partir daí as relações com Faraday deterioraram-se. Mesmo após estas acusações, em 18 de Janeiro de 1823, Faraday voltou a trabalhar nas experiências electromagnéticas, começando uma sequência de vinte e quatro ensaios sobre rotações, com um objectivo bastante diferente do que tinha feito anteriormente. Todos eles estão relacionados a fenómenos de rotação de fios ou ímanes em torno de seus próprios eixos – um problema importante sob o ponto de vista da discussão entre Faraday e Ampère. Mas parecia claro para os investigadores nesta área que se a electricidade pode induzir um campo magnético (já tinha sido provado experimentalmente), também o campo magnético poderia induzir corrente eléctrica. Esta ideia esteve sempre presente

em Faraday e noutros investigadores (os amigos Ampère e Arago continuaram a trabalhar em electricidade e magnetismo, efectuando importantes descobertas que muito contribuíram para a grande descoberta de Faraday), que durante este período de aproximadamente dez anos trabalharam a fim de tentar confirmar que um campo magnético induzia electricidade. O espírito curioso e criativo destes homens continuava vivo.

Em 1823, Faraday foi eleito membro da Royal Society a qual era presidida por Davy que tentou impedir que Faraday fosse eleito, provavelmente tinha inveja do sucesso e fama que Faraday começou a ter¹¹⁴, mas apesar de tudo Faraday foi eleito por todos os membros à excepção de um¹¹⁵, Davy. Faraday "interromperia"¹¹⁶ os seus estudos de electricidade e magnetismo e voltaria à Química¹¹⁷, retomando apenas em 1831¹¹⁸, quando realizou uma série de experiências e observou o fenómeno da indução electromagnética. Neste interregno Faraday começou a corresponder-se com Ampère (Faraday substituiu Davy e Abbot, o primeiro na qualidade de mentor e Abbot como um amigo, que continuou a ser, mas já sem interesses em comum), que o encorajava a continuar com as suas experiências, tendo referido mesmo numa das suas cartas:

¹¹⁴ Também ele, assim como Davy atraíam multidões às suas famosas palestras temáticas, "Friday evening discourses". Faraday seleccionava para cada uma, um tema para o qual por vezes convidava investigadores ligados a esse tema, além de informar o cidadão comum dos seus estudos, pretendia também divulgar a ciência ao mundo. Estas sessões duravam uma hora e finalizavam com um chá e debate. Dickens teria mesmo se oferecido para auxiliar na redacção de algumas palestras de seu amigo com o objectivo de atingir um público ainda maior. A mais famosa das palestras de Natal foi proferida por Faraday com o título "A história química de uma vela" ("The chemical history of a candle") que compreendia seis palestras acompanhadas de demonstrações simples, cuja versão em livro se tornou um clássico. Foi também o responsável pela criação "The Christmas Lectures for Juvenils" que continuam até hoje na R.I. Entre 1826 e 1862, Faraday deu 123 conferências e 19 Leituras de Natal.

¹¹⁵ Nesse mesmo ano, Faraday foi também eleito membro honorário da Sociedade Filosófica de Cambridge, membro por correspondência da Academia Económico-Agrária de Florença, Estrangeiro associado do instituto de França e membro honorário do Instituto de Bristol. Nos anos seguintes seguiram-se outras nomeações.

¹¹⁶ Não interrompeu totalmente, pois no seu diário a partir de 1824, encontram-se muitas descrições de diversas experiências, na tentativa de produzir corrente a partir do magnetismo. Cada relato acabava com uma nota: "não manifestou acção" ou "sem efeito".

¹¹⁷ A partir de 1820, descobriu a fórmula química de diferentes compostos orgânicos, destacando-se, em 1825, o benzeno, o então chamado "bicarbureto de hidrogénio", observado em garrafas de gás que continham um líquido aromático claro no fundo. A caracterização do benzeno foi realizada através de uma precisa análise quantitativa do CO₂ e H₂O obtidos da combustão do benzeno com o oxigénio puro. A sua purificação foi realizada por meio de destilação e recristalização. Faraday realizou estudos de liquefacção de gases reconhecendo a existência de uma temperatura crítica - tal como conhecemos hoje - acima da qual, independentemente da pressão, não ocorreria condensação dos gases.

¹¹⁸ Em 1825, Faraday, apesar do pouco tempo que tinha para se dedicar ao estudo da electricidade e do magnetismo, pois além dos seus trabalhos em Química tinha também aceite o cargo de director do Laboratório e professor de Química da R.I., tentou com uma série de condutores de configurações geométricas diferentes e um íman induzir electricidade, mas não o conseguiu porque o Galvanómetro utilizado não era muito sensível e a agulha não se movia.

"As suas descobertas que enriqueceram a Física com novos factos influenciaram os meus estudos sobre o fenómeno electrodinâmico, nestes últimos dois anos".

Depois de curta pausa, Faraday voltou a publicar sobre o assunto em 1825, no *Quarterly Journal of Science*, um trabalho curto (Faraday, 1825), onde apresentou resultados negativos de sua primeira tentativa de influenciar a intensidade de correntes eléctricas através de um íman.

Finalmente em 1831, realizou a sua mais famosa experiência tendo sido influenciado pelas experiências realizadas por Ampère, Arago e principalmente por Joseph Henry (1797-1878)¹¹⁹ na América. Parece que Faraday não foi o primeiro a produzir electricidade a partir do magnetismo, um grande número de investigadores procuravam na época atingir esse fim, a sua intuição dizia-lhes que seria a grande invenção do século, mas desta vez foi o primeiro a registar a grande descoberta.

Pediu ao seu ajudante Charles Anderson (construtor de instrumentos) para construir um anel de ferro macio com um diâmetro externo de 15,24 cm ao qual enrolou um longo fio de cobre de aproximadamente 7,44 m a metade do anel e outro fio à outra metade sem se tocarem, isolando o anel com corda de algodão. Ligou um par de fios condutores a uma fonte de alimentação (lado A) e o outro ligou ao rotor electromagnético construído por ele em 1821 (na primeira fase das suas experiências, depois utilizou galvanómetros) que designou por lado B.

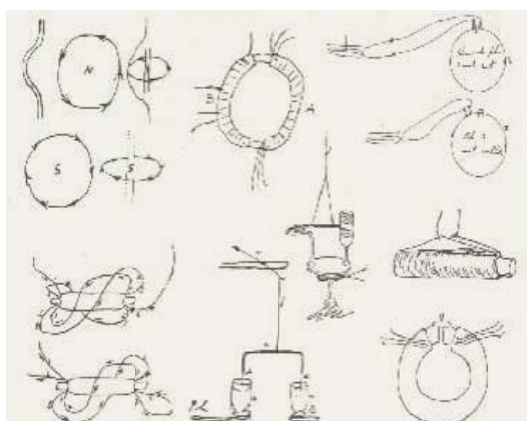


Figura 63 - Esboços de Faraday do Anel de indução de ferro, o primeiro transformador eléctrico que se encontra no Museu de Faraday na R.I.

¹¹⁹ Realizou diversas experiências utilizando electroímans bastante potentes. Há autores que referem que foi Henry, físico e inventor americano que descobriu a indução electromagnética em 1830, mas Faraday foi o primeiro a publicá-la.

No dia 29 de Agosto de 1831, fecha o circuito do lado A e observa a agulha do galvanómetro a oscilar¹²⁰, regressando depois à sua posição original, o que quer dizer que registou durante um instante a presença de corrente no lado B, mas ficou desapontado pois a agulha não se movimentou mais, apesar de o circuito continuar fechado. Então desliga o circuito do lado A e observou novamente oscilação da agulha do galvanómetro, o que quer dizer que Faraday tinha finalmente induzido corrente eléctrica.

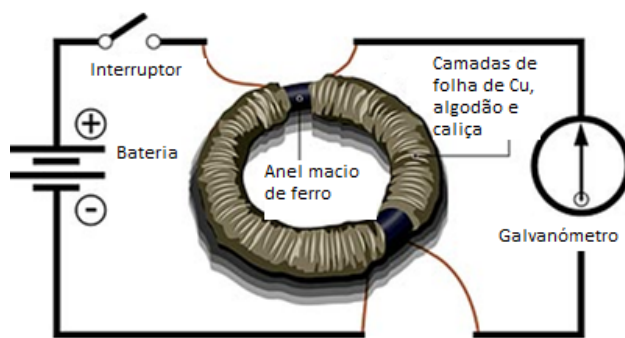


Figura 64 - Esquema da montagem que Faraday construiu para descobrir a indução electromagnética

Mas Faraday observou outro facto, não conseguia produzir correntes estáveis, porque quando desligava o circuito, a agulha do galvanómetro movimentava-se novamente, a corrente era produzida por flashes, resumindo os resultados, chegou então à conclusão que uma corrente num fio móvel só pode induzir uma corrente noutro fio, quando esta é variável. Por outro lado, uma corrente estacionária que passe num fio não pode induzir corrente noutro fio. Faraday tinha finalmente descoberto a indução de electricidade. Mas Faraday ainda não tinha ficado satisfeito com o seu trabalho e tendo em linha de conta o conceito "linhas de forças", tentou descobrir quais os princípios básicos que a indução electromagnética envolvia. De acordo com a sua teoria, a corrente variável na bobina A modificava as linhas de força magnética em todo o anel do ferro. A variação nas linhas de força magnéticas na parte do anel de ferro da bobina B ia induzir uma corrente em B. Prosseguiu com os ensaios e descobriu que não era necessário o anel de ferro e que o ligar e desligar de uma corrente que passava numa bobina induzia corrente momentaneamente numa outra bobina próxima,

¹²⁰ Faraday tinha construído o primeiro transformador, a partir de baixas tensões obteve tensões mais altas.

mesmo que houvesse só ar entre elas. Um dia resolveu inserir um íman cilíndrico no interior da bobina em anel, observou-se movimento na agulha do galvanómetro, quando se retirava o íman a agulha movia-se no sentido oposto. Obtinha-se, assim, uma corrente eléctrica através da variação do fluxo magnético, agora era só preciso estabilizar a corrente eléctrica.

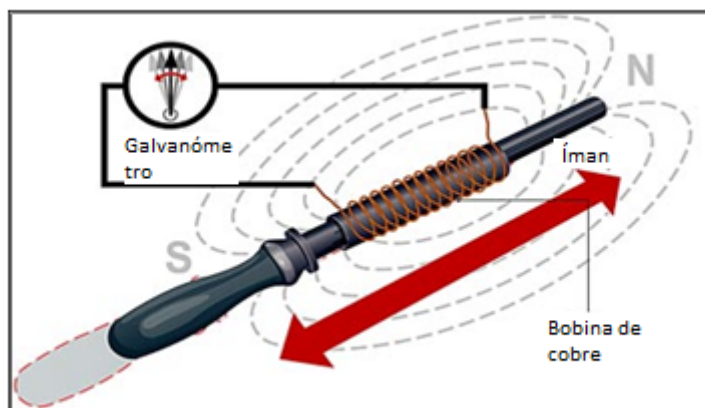


Figura 65 - O primitivo gerador eléctrico. Movimento do íman no interior de uma bobina.

Faraday escreveu no seu diário: "...Uma barra magnética cilíndrica... tinha apenas uma das extremidades ligeiramente dentro de uma hélice cilíndrica; depois empurrou-se rapidamente o íman para dentro do cilindro e a agulha do galvanómetro moveu-se; em seguida puxou-se a barra novamente para fora e a agulha tornou a mexer, mas no sentido oposto. O efeito repetia-se sempre que se introduzia ou removia o íman (Projecto Física, 1985)".

Concluiria então que:

- sempre que uma força magnética aumenta ou diminui, produz electricidade;
- quanto mais depressa se dá esse aumento ou diminuição, mais electricidade se produz;

Faraday foi bastante criticado pelos seus pares por ter interpretado a sua descoberta de modo tão simples e em inglês para qualquer pessoa a interpretar. Na época não era um procedimento normal, faziam-no em Latim ou em linguagem matemática (a escolhida pela ciência) que nem todos percebiam. Mas Faraday não se entendia com a matemática e a sua simpatia pela Igreja Sandemaniana também o influenciou. Enunciou então o princípio geral da indução electromagnética: "*a variação das linhas de força magnética pode induzir uma corrente num fio.*"

A “variação” necessária nas linhas de *força*¹²¹ força pode ser produzida quer movendo um íman relativamente ao fio quer utilizando uma corrente variável, no caso da corrente variável, são as linhas de força que “atravessam” o fio. Podemos então dizer que se pode induzir uma corrente num circuito fazendo variar um campo magnético¹²² à volta do circuito. Estas variações podem resultar do movimento do fio em relação ao campo ou simplesmente da variação da intensidade do campo.

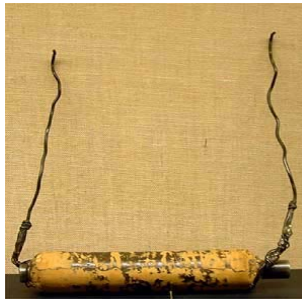


Figura 66 - Íman cilíndrico utilizado na experiência da “indução electromagnética”
(Royal Institution - Museu de Faraday)

Mas Faraday deparou-se ainda com um problema, a corrente que obtinha por indução era momentânea, o que parecia ser um grande passo no avanço tecnológico não o era, relativamente às baterias que existiam na época não parecia haver avanços. Faraday então arranjou uma maneira das linhas de força magnéticas terem uma variação contínua em relação ao condutor, construiu um aparelho no qual um disco de cobre rodava sobre os pólos de um íman e assim gerou uma corrente estacionária num circuito ligado ao disco através de “escovas”. Este aparelho designou-se por “dínamo de disco de Faraday” (1832) e foi o primeiro gerador de corrente eléctrica constante, não se mostrou muito prático mas provou que se podia criar corrente eléctrica constante.

¹²¹ O interesse de Faraday pelo desenho e pintura e por fim a fotografia (entre 1840 e 1860 tornou-se mesmo um fotógrafo famoso) tiveram uma grande influência no seu vocabulário científico: Quando procurava novas palavras para descrever um determinado fenómeno, descobriu expressões como ‘linhas de força’, ‘campo magnético’ ou ‘crispações’, noções que tanto podia desenhar como escrever. Durante toda a sua vida foi esta a situação que o ajudou nas diversas descobertas que fez, as notas e esquemas que registava no seu diário de bordo de tudo o que observava, visto que não podia fazer o seu tratamento matemático.

¹²² Há quem refira que foi Maxwell que pela primeira vez utilizou a palavra campo, apesar de Faraday ter tido a ideia.

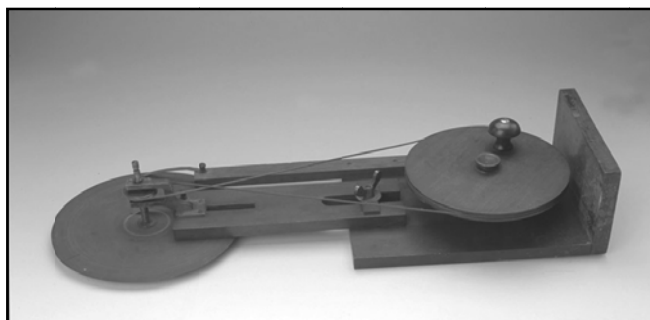


Figura 67 - Este exemplar do disco de Faraday faz parte do espólio do museu Marischal de Aberdeen. Tem aproximadamente 75 cm de comprimento e 26 cm de largura, mede 19 cm de diâmetro. Este aparelho pode ser considerado o primeiro dínamo a ser construído, capaz de produzir electricidade fazendo mover o disco de cobre entre dois ímanes. Foi utilizado por Faraday em numerosas experiências por volta de 1850.

A sua grande descoberta proporcionou um grande salto na Física e uma inovação mais tarde explorada industrialmente com os motores eléctricos. Com a constatação experimental dos fenómenos electromagnéticos, a preocupação de Faraday passou a ser com a real compreensão do fenómeno. A ideia newtoniana (e coulombiana) de acção à distância não o entusiasmava, imaginava que o espaço existente entre as cargas eléctricas e os ímanes deveria ser "preenchido" por algo que proporcionasse as interacções então observadas. Mesmo desprovido da análise matemática, porém, com espectacular intuição, dá a sua principal contribuição teórica introduzindo a ideia de linhas de força que culminariam na teoria do campo, elegantemente sintetizada por Maxwell no nascimento de uma nova Física¹²³. No entanto era com alguma dificuldade que Faraday confessava que não sabia exactamente como eram constituídas as linhas de força e de que maneira se dava o mecanismo de transmissão de forças:

" Não sabemos se a força magnética é transferida de corpo para corpo ou através do espaço, se o resultado é devido a uma acção à distância, como no caso da gravidade, ou a algum agente intermediário, como no caso da luz, calor, corrente eléctrica e da acção electrostática (como eu acredito) [...] Da minha parte, considerando a relação do vácuo com a força magnética e as características gerais do fenómeno magnético eu estou mais inclinado em aceitar a noção de que na transmissão da força, existe uma acção exterior ao íman. Ao invés dos efeitos serem meramente de atracção e repulsão à distância. Tal acção pode ser uma função do éter; pois não é de todo improvável que, se existe um éter, ele deva apresentar outras propriedades além de simplesmente transmitir radiações (Projecto Física, 1985) ".

123 Para Einstein, a grande revolução das bases da Física Teórica devia-se a Faraday e Maxwell.

Estas descobertas foram de tal modo importantes que Faraday, preparou tudo para que os membros da Royal Society fossem os primeiros a saber. O acto de depositar um artigo na R.S. estabelecia a data da nova descoberta e o artigo de Faraday com a designação "Experimental Researches in Electricity" (Pesquisas Experimentais em Electricidade) entrou nesta instituição no dia 24 de Novembro de 1831. Mas tal como em 1821, novamente a polémica de quem descobriu primeiro veio à superfície, desta vez Faraday não foi tão ingénuo, pois toda a documentação da descoberta tinha sido entregue na Royal Society.

Para Faraday o esforço intelectual tinha sido bastante e em 1839 sofre um colapso nervoso, impedindo-o de trabalhar durante alguns meses e do qual nunca se recuperaria totalmente. Mesmo assim durante a sua crise, não perdeu totalmente o contacto com as suas investigações e continuaria a publicar artigos. Faraday trabalhou activamente até 1862, em diferentes linhas de investigação, tais como: Electrólise, descarga eléctrica em gases, o que hoje conhecemos como "gaiola de Faraday", diamagnetismo, paramagnetismo, polarização da luz, colóides. Especulou, também, sobre uma teoria electromagnética da luz, posteriormente desenvolvida por Maxwell. Em 1849, fracassou na tentativa de estabelecer uma relação entre a gravidade e a electricidade. As contribuições de Faraday estenderam-se por muitas outras actividades, além das científicas e de divulgação. Foi um dos primeiros defensores do ensino das ciências; foi consultor de instituições como a National Gallery e o British Museum.

O Diário de Faraday revelou-se uma generosa herança para os seus biógrafos. Continuamente, de 1820 a 1862, registou minuciosamente as suas investigações, com desenhos, detalhes construtivos, resultados obtidos, observações, as conclusões imediatas e as suas intuições. O "Faraday's Diary" foi publicado em 1932 pela Royal Institution em sete volumes, num total de 3236 páginas. Apesar de sua natureza reservada, que incluía participação religiosa significativa na igreja Sandemaniana, em companhia da sua mulher Sarah Barnard, Faraday com o seu prestígio, tornou-se uma liderança em Inglaterra, com laços de amizade não só com cientistas ligados à sua arte como também com biólogos, escritores e membros da sociedade inglesa. Morre a 25 de Agosto de 1867, aos 75 anos na sua casa em Hampton Court, oferecida pela Rainha Vitória pelos serviços prestados à coroa.

Sobre Faraday, Ernest Rutherford escreveu o seguinte:

"The more we study the work of Faraday with the perspective of time, the more we are impressed by his unrivalled genius as an experimenter and a natural philosopher. When we consider the magnitude and extent of his discoveries and their influence on the progress of science and of industry, there is no honour too great to pay to the memory of Michael Faraday - one of the greatest scientific discoveries of all time".

Faraday deixou como herança uma nova perspectiva para o conhecimento das interacções físicas na natureza: as linhas de força. Além desta designação foi o responsável em conjunto com o seu amigo Reverendo Whewell por uma boa parte da nomenclatura eléctrica, como electrólise, electrólitos, ânodo, cátodo, ião, anião, catião, paramagnetismo, diamagnetismo, equivalente electroquímico e linhas de força. Embora a sua descrição dessas linhas fosse vaga e imprecisa, revelou-se útil para James Clerk Maxwell (1831-1879), que nas décadas de 1850 e 1860, desenvolveu a teoria matemática do campo electromagnético, ainda hoje aceite.

1.2.4 A Teoria Electromagnética de Maxwell

Até 1820, a mecânica de Newton era única, pois as "forças" da natureza como o calor, a luz, a electricidade, o magnetismo, a acção química não eram mais que atracções e repulsões instantâneas entre partículas constituintes de um conjunto de fluidos. A electricidade e o magnetismo obedeciam à Lei de Coulomb, equivalente à lei da gravitação de Newton. Na primeira metade do século XIX, iniciou-se uma corrente contrária a esta visão newtoniana e que culminou com a descoberta da relação entre a electricidade e o magnetismo em 1820 por Faraday, que aparentemente contrariava o que foi visto anteriormente, daí que tenha sido muito difícil acreditar nesta relação. Deste modo Faraday procurou interpretar o que tinha observado, utilizando o conceito de linhas de forças, enquanto Ampère e os seus seguidores procuraram conciliá-la com visões já existentes sobre a acção à distância.

Maxwell inicia as suas investigações em electricidade por volta de 1854 e embora a teoria de Weber e Neumann¹²⁴ dominasse o cenário científico da época,

¹²⁴ Em meados do século XIX, as equações de Ampère e de Weber, juntamente com a teoria do potencial de Neumann, forneciam os pontos iniciais para quase todos os trabalhos realizados na Europa sobre a Teoria Electromagnética baseadas na ideia da acção à distância.

as influências determinantes no seu trabalho vieram de Faraday e de William Thomson – Lord Kelvin (1824-1907). Faraday contribuiu com a revolucionária ideia de Linhas de Forças e Thomson com as suas analogias mecânicas.



Figura 68 - Maxwell (1831-1879)

Maxwell nasce no dia 13 de Junho de 1831 em Edimburgo, Escócia, precisamente no ano em que Faraday descobre a Indução Electromagnética. Desde cedo que Maxwell mostra tendência para as máquinas e respectivos mecanismos, em casa fazia experiências utilizando métodos rudimentares ajudado pelo pai que tinha os mesmos interesses. Aos 14 anos escreve o seu primeiro artigo científico “Descrição das curvas ovais perfeitas”, não sendo um trabalho original, era verdadeiramente notável para um adolescente, tendo sido lido perante a Royal Society de Edimburgo. Outros trabalhos se seguiram tendo sido editados pela mesma sociedade. Em 1847, com 16 anos entra na Universidade de Edimburgo, onde estuda durante três anos, em 1850 começa a estudar matemática no Trinity College em Cambridge, a escola de Newton e Darwin, termina em 1854 com a segunda melhor nota no exame de matemática. Começa a leccionar Filosofia Natural no Marischal College de Aberdeen, é nesta época que começa realmente a sua carreira científica. Consegue uma bolsa de estudo e inicia as suas investigações em duas áreas: teoria da cor e electricidade, mais tarde comentaria que era dos assuntos mais complexos em Ciência. Abandona estas investigações para preparar a tese com o título “Os anéis de Saturno”.

Em 1855, escreve um artigo com a designação " On Faraday's Line of force"¹²⁵, (Sobre as linhas de força de Faraday), tinha então 24 anos. Baseou-se nos registos de Faraday entre 1839 e 1855 e na longa correspondência que manteve com Thomson (Lord Kelvin). Diria que as linhas de força no espaço que rodeia um íman - as curvas magnéticas de Faraday - dão informação da direcção da força do campo, mas não a sua intensidade em qualquer ponto:

"... Se começarmos num ponto qualquer e traçarmos uma linha de modo a que, quando a seguimos, a direcção e o sentido dos seus diferentes pontos coincida sempre com os da força resultante existente em cada um desses pontos, esta curva indicará a direcção e sentido dessa força em cada ponto que ela atravessa e, por isso, pode chamar-se uma linha de força. Podemos, da mesma forma, traçar outras linhas de força até termos preenchido todo o espaço com curvas que indiquem, pela sua direcção e sentido, a direcção da força em qualquer ponto." (in Projecto Física, 1985)

Maxwell afirmou que o seu artigo pretendia mostrar como é que, a partir da aplicação das ideias de Faraday, a relação entre os diversos tipos de fenómenos por ele descoberto se podia exprimir em linguagem matemática, assim empregou a letra "B" para designar o magnetismo e a letra "E" para designar a Electricidade. Incluiu também o símbolo $-\partial/\partial t$ para representar a expressão «taxa de crescimento ou diminuição de ...» e o símbolo $\nabla \times$ para designar «o valor de ...» Assim sendo, a descoberta de Faraday resumia-se à equação:

$$\nabla \times E = -\partial B/\partial t$$

Isto é, a quantidade de electricidade produzida pelo magnetismo era igual à taxa de aumento ou diminuição da força geradora. Um campo magnético a variar rapidamente produzia uma grande quantidade de electricidade, enquanto um campo magnético que variasse lentamente produzia quantidades pequenas de electricidade. Se o campo magnético se mantivesse constante no tempo, não se produziria electricidade.

¹²⁵ Este artigo é constituído por duas partes, publicadas respectivamente em 1855 e 1856. Segue o método das analogias de Thomson, com o qual manteve intensa correspondência, para interpretar as ideias de Faraday sobre os fenómenos electromagnéticos a partir da noção do éter, o qual lhe permitiria construir um modelo de Campo Electromagnético que seguiria as leis da mecânica newtoniana.

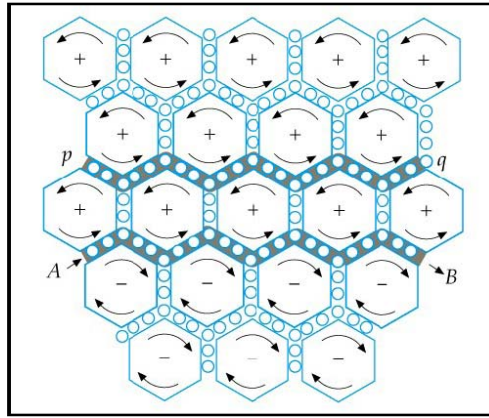


Figura 69 - Modelo do éter de Maxwell para o campo magnético. Os vórtices representam linhas de força magnética; o espaço entre eles é ocupado por partículas que se comportam como os dentes de uma engrenagem. No espaço livre, o único movimento que as partículas executam (a corrente de deslocamento) está associado a uma pequena reacção elástica, mas num fio condutor as partículas movem-se livremente. Este movimento constitui uma corrente eléctrica, que por sua vez dá origem aos vórtices, criando um campo magnético em torno do fio. Na figura, o percurso AB representa a corrente num fio e o percurso 'pq' a corrente induzida num fio próximo. (Adaptado de The Scientific Papers of James Clerk Maxwell, Vol. I, Figura 2).

Durante os dez anos seguintes, Maxwell criou os seus próprios modelos para a indução eléctrica e magnética. Ao desenvolver a sua teoria, propõe primeiro um modelo mecânico para as quantidades eléctricas e magnéticas que Faraday e outros cientistas tinham observado experimentalmente. Explicou o modelo com um conjunto de equações que relacionava os campos eléctricos e magnéticos.

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = 0 - \text{Ausência de dipolos magnéticos}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho - \text{Lei de Gauss}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{\delta \vec{B}}{\delta t} \quad \text{Lei de Faraday}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{j} + \frac{\delta \vec{D}}{\delta t} \quad \text{Lei de Ampère}$$

Figura 70 - Equações de Maxwell

Completando este conjunto de equações e quando temos uma carga eléctrica que interage com o campo magnético:

$$\vec{F} = q (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad \text{Lei de Lorentz}$$

As potencialidades destas equações eram tais que permitiram abandonar completamente o modelo mecânico ou seja a ideia de força à distância. Esta

ideia formava a base de uma das linhas das investigações sobre os fenómenos electromagnéticos adoptadas na Europa na segunda metade do século XIX. Essa linha, seguida principalmente fora da Grã-Bretanha, procurava explicar os fenómenos electromagnéticos a partir de forças proporcionais ao inverso do quadrado da distância entre os corpos (Lei de Coulomb). Além disso, considerava que estas forças agiam à distância, isto é, sem a necessidade de um meio para intermediar as interacções. Investigadores como Michael Faraday, William Thomson e James Clerk Maxwell passaram a adoptar uma visão diferente. Em vez de considerarem acção à distância, dedicaram-se a explicar os fenómenos electromagnéticos como um efeito que se propagaria através de um meio. Faraday supôs que a electricidade e o magnetismo agiriam através de "linhas de força". Essas linhas teriam uma existência real e seriam elas mesmas as responsáveis pelos fenómenos electromagnéticos. Na abordagem de Faraday, não havia necessidade de matéria comum para explicar a existência das linhas de força. No entanto, as linhas de força eram interpretadas como estruturas físicas, mas estruturas de quê? A resposta a essa pergunta foi sendo desenvolvida ao longo do século XIX e foi fortemente influenciada pela concepção que os físicos tinham sobre a natureza da luz.

A teoria do electromagnetismo foi a obra-prima de Maxwell, conseguiu pensar e descrever matematicamente os fenómenos eléctricos e magnéticos com um conjunto de fórmulas, as "Equações de Maxwell". Estabeleciam-se então os grandes princípios do electromagnetismo:

- Uma corrente eléctrica num condutor produz linhas de forças magnéticas que envolvem o condutor;
- Quando um condutor se move através de linhas de forças magnéticas que se criaram por meios exteriores ao condutor, induz-se uma corrente no condutor;
- Um campo eléctrico variável no espaço produz um campo magnético;
- Um campo magnético variável no espaço produz um campo eléctrico.

A partir destas equações, Maxwell demonstrou que a velocidade das ondas electromagnéticas, desconhecidas até então, coincidia com a velocidade da luz, a qual já era conhecida na época, e aproximadamente 300 000 km/s, o que lhe indicou que a luz é de natureza electromagnética, além disso previu a existência de radiações para além do visível.

ANEXO III – ORIENTAÇÕES CURRICULARES PARA O 9º E 11º ANOS RELATIVAMENTE AO ELECTROMAGNETISMO

www.dgidc.min-edu.pt/fichdown/programas/ciencias_fisicas_naturais.pdf:

9º Ano

O estudo do electromagnetismo justifica-se atendendo à sua aplicação em muitos dos aparelhos que utilizamos diariamente. No entanto, preconiza-se aqui uma abordagem bastante simplificada.

Fornecer aos alunos diferentes materiais e verificar quais são atraídos por ímanes. Realizar experiências com ímanes e limalha de ferro para introduzir o conceito de campo magnético.

Identificar objectos que usam electroímans. Construir um electroímã rudimentar.

Proporcionar aos alunos oportunidades de produção de correntes eléctricas induzidas, estudando os factores que afectam a intensidade e o sentido dessas correntes.

Sugere-se a realização de experiências para os alunos reconhecerem a existência de correntes alternadas, distinguirem corrente contínua de alternada e identificarem as vantagens associadas à utilização desta última na produção e na distribuição de electricidade.

Uma aplicação possível dos conteúdos anteriores consiste no estudo dos sistemas eléctricos dos automóveis, especificados nos respectivos manuais ou noutras fontes que incluam informação técnica adequada. Os alunos podem analisá-los e distinguir entre turbina, gerador, dínamo e alternador

11º Ano

O estudo da indução electromagnética justifica-se pela necessidade do uso de microfones e altifalantes na comunicação sonora, mesmo a curtas distâncias. Serve também para facilitar a interpretação gráfica dos sinais observados nos osciloscópios, reforçando a ideia da imprescindível conversão dos sinais sonoros em eléctricos.

A primeira actividade a realizar no laboratório tem como finalidade principal a familiarização do aluno com a utilização do osciloscópio, instrumento que os alunos irão usar com frequência nesta Unidade.

No estudo da lei de indução de Faraday, será introduzida a noção de fluxo.

Os conceitos de campo eléctrico e magnético (este último já abordado no 3º ciclo) serão estudados qualitativamente, em termos da sua origem, acção, características, zonas de maior ou menor intensidade, apenas a partir da observação de espectros eléctricos e magnéticos e da sua representação pelas respectivas linhas de campo. Não se pretende o estudo de qualquer expressão de intensidade dos campos.

A actividade de natureza histórica que se propõe no segundo contexto desta Unidade visa as finalidades gerais de tarefas deste tipo, tendo a particularidade de poder ser ilustrada com demonstrações experimentais que ajudarão a compreender a evolução dos conceitos e a orientação para novas descobertas. Será a partir desta actividade que irão emergir os conceitos básicos à compreensão da importância fundamental da radiação electromagnética na transmissão de informação a grandes distâncias, sem recorrer a um modelo complexo de onda electromagnética.

- Microfone e altifalante
- Campo magnético e campo eléctrico. Unidades SI
- Linhas de campo
- Fluxo magnético através de uma e de várias espiras condutoras
- Indução electromagnética
- Força electromotriz induzida. Lei de Faraday

- Identificar um campo magnético \vec{B} como a grandeza que se manifesta através da acção que exerce sobre ímanes naturais e correntes eléctricas
- Reconhecer que um campo magnético \vec{B} tem a sua origem em ímanes naturais e em correntes eléctricas
- Identificar o campo eléctrico \vec{E} como a grandeza que se manifesta através da acção que exerce sobre cargas eléctricas
- Reconhecer que um campo eléctrico \vec{E} tem a sua origem em cargas eléctricas e em campos magnéticos variáveis
- Identificar zonas de campo eléctrico e magnético mais ou menos intenso e zonas de campo aproximadamente uniforme, a partir da observação de espectros eléctricos e magnéticos e da sua representação pelas respectivas linhas de campo
- Expressar as intensidades dos vectores campo eléctrico \vec{E} e campo magnético \vec{B} em unidades SI.
- Identificar o fluxo magnético que atravessa uma espira ($\Phi = B A \cos \alpha$), como o produto da intensidade de campo magnético que a atravessa perpendicularmente pela sua área, e explicar as condições que o tornam máximo, mínimo ou nulo. Generalizar para várias espiras
- Explicar em que consiste o fenómeno de indução electromagnética
- Explicar como se produz uma força electromotriz induzida num condutor em termos dos movimentos deste que originam variações do fluxo
- Identificar força electromotriz induzida como a taxa de variação temporal do fluxo magnético (Lei de Faraday)
- Expressar o valor de uma força electromotriz em unidades SI
- Relacionar a força electromotriz de um gerador com a energia que este pode disponibilizar
- Explicar o funcionamento de um microfone de indução e de um altifalante
- Interpretação das propriedades do campo eléctrico e magnético através da observação experimental de espectros ou de esquemas representativos das respectivas linhas de campo (campos criados por cargas eléctricas pontuais, cargas do mesmo sinal e de sinal contrário, placas paralelas com cargas de sinal contrário, ímanes, fio rectilíneo percorrido por uma corrente eléctrica e bobinas).

O professor deverá verificar se o aluno é capaz de:

- reconhecer a acção de um campo eléctrico sobre cargas eléctricas e de um campo magnético sobre agulhas magnéticas
- reconhecer que uma carga eléctrica origina um campo eléctrico e que ímanes e cargas eléctricas em movimento (correntes) originam um campo magnético
- visualizar as propriedades de diferentes campos eléctricos e magnéticos através das linhas de campo, reconhecendo semelhanças e diferenças
- Observação do aparecimento de uma força electromotriz induzida quando se varia o fluxo do campo magnético, identificando modos de fazer variar o fluxo.

O professor deverá verificar se o aluno é capaz de:

- indicar as condições necessárias à produção de uma força electromotriz induzida num condutor
- enunciar a lei de Faraday
- Pesquisa e debate sobre a experiência de Hertz e os trabalhos de Marconi que levaram à produção de ondas de rádio e à transmissão de som através destas. A discussão deverá
- proporcionar oportunidade para debater o papel da previsão teórica (referência a Maxwell) e da confirmação experimental para o avanço da Ciência e da Tecnologia
- O professor deverá verificar se o aluno é capaz de:
- descrever e interpretar a experiência do dipolo de Hertz
- associar a emissão e recepção de ondas de rádio por antenas com o que se passa na bobina de faísca e na de indução
- reconhecer a importância da experiência de Hertz na comprovação da teoria de Maxwell
- explicar, relacionando as experiências de Oersted, Faraday e Hertz, que a Ciência se vai construindo com pequenos avanços que induzem novas descobertas
- reconhecer neste exemplo histórico, a importância da Física como proporcionadora de meios para a evolução da sociedade - na sua educação, cultura, economia, etc.